FLUENT HELP 算例精选中文版（二）

（《数值计算与工程仿真》专刊）

清洁能源论坛　翻译整理

（WWW.MyCFD.CN）

2005 年 4 月 12 日

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

前 言

目前广大FLUENT初学者遇到的主要困难之一就是缺少中文学习资料，有很多网友在论坛上寻求中文算例，为了给学习FLUENT的朋友提供参考和帮助，迅速提高其应用FLUENT软件的水平，清洁能源技术论坛《数值计算与工程仿真分类区》组织一些会员翻译了 FLUENT 6.1 Tutorial Guide 的部分算例， 因为人力精力的限制，本次翻译仅选择了 Tutorial Guide中的7个经典算例。因为本文是会员利用业余时间翻译的，而且翻译者的水平有限，翻译中的错误在所难免，希望大家批评指正，以便我们进一步改进工作。

在翻译期间，得到“清洁能源技术论坛”各位会员的大力支持，具体的翻译工作如下：

算例 1	sgseal	译	caoqx	校对
算例 4	yangjch1023	译	yangs	校对
算例 5	caohuali	译	yangs	校对
算例 13	lhy	译	pkyforever	校对
算例 15	sgseal	译	caoqx	校对
算例 18	gongzeru	译	summered	校对
算例 21	gongzeru	译	summered	校对

本次工作由caoqx编辑整理完成，本次工作还得到了“清洁能源技术论坛”论坛的brightsun、jackywzq、caohuali、sfsm、mufei等几位版主的大力支持，在此对他们付出的心血和汗水表示衷心感谢。

注意：未经FLUENT公司和本论坛的允许，任何人不得将本文用于商业目的。

清洁能源技术论坛

www.myCFD.cn

目录

前言……………………………………………………………………….………...…...2
目录………………………………………………………………………………...…3

FLUENT 经典算例翻译之一

算例 1　介绍如何使用 Fluent……………………….………………………...…..…..4
算例 4　非定常可压缩流动模型……………………………….…………..…..52
算例 5　辐射与自然对流模拟…………………………….……….…….….…99

FLUENT 经典算例翻译之二

算例 13　使用非预混燃烧模型……………………………………..…………151
算例 15　蒸发性液体喷雾建模………………………………………….…..……214
算例 18　使用混合物多相模型和欧拉多相模型………………………….…252
算例 21　使用欧拉多相粒子传热模型……………………………..…………278

www.myCFD.cn

算例 13　使用非预混燃烧模型

引言

煤粉燃烧的模拟包括气相连续流场的建模和它与煤粒非连续相的作用的建模。穿过气体的煤粒会挥发燃烧并成为与气相反应的燃料源。反应可以用组份输运模型（the species transport）或模型（the non-premixed combustion）模拟，在本指南中你将用非预混燃烧模型模拟简单煤粉燃烧炉中的化学反应。

在本指南中你将学会：

1.怎样用 prePDF 预处理程序为煤粉燃料准备 PDF 表格。

2.怎样为非预混燃烧化学模型定义输入条件。

3.怎样定义煤粒的非连续相。

4.怎样解决包含非连续相煤粒的反应的模拟。

非预混燃烧模型用这样的一种建模方法：用一个或二个守恒量，即混合分数求解输运方程。多种化学组份，包括基团和中间产物组份可能被包含在对问题的定义当中，而且它们的浓度将来至于混合分数分布的预测。组份的特性参数是通过化学数据库获得。湍流化学反应是用 Beta 或者双 delta 概率密度函数来模拟的。关于非预混燃烧模拟方法的更多细节请参看使用手册。

前提条件

本指南是建立在你已经熟悉 FLUENT 的菜单结构并且已经做完指南 1 的基础上的。因此在建立过程中的一些步骤和解决过程将被省略。

问题描述

本指南中用的煤燃烧系统为一简单的 10m*1m 的二维管道，如图 13.1 所示。因为是对称的，所以只模拟宽度方向上的一半区域。2D 管道的进口分为两股流动。管道中心附近的高速流速度为 50m/s，宽度为 0.125m。另一股流的速度为 15m/s，宽度为 0.375m.两股流都为 1500K 的空气。煤粒在高速流的附近以 0.1kg/s

www.myCFD.cn

（炉膛中的总流量为 0.2kg/s）的质量流量进入炉膛。管壁的温度为常数 1200K。在进口尺寸和平均入口速度有关的雷诺数大约为 1000000，所以，流动为湍流。关于煤的成分的祥细资料和粒径分布在第五步：Models:连续相（气）和第八步：Materials:非连续相中介绍。

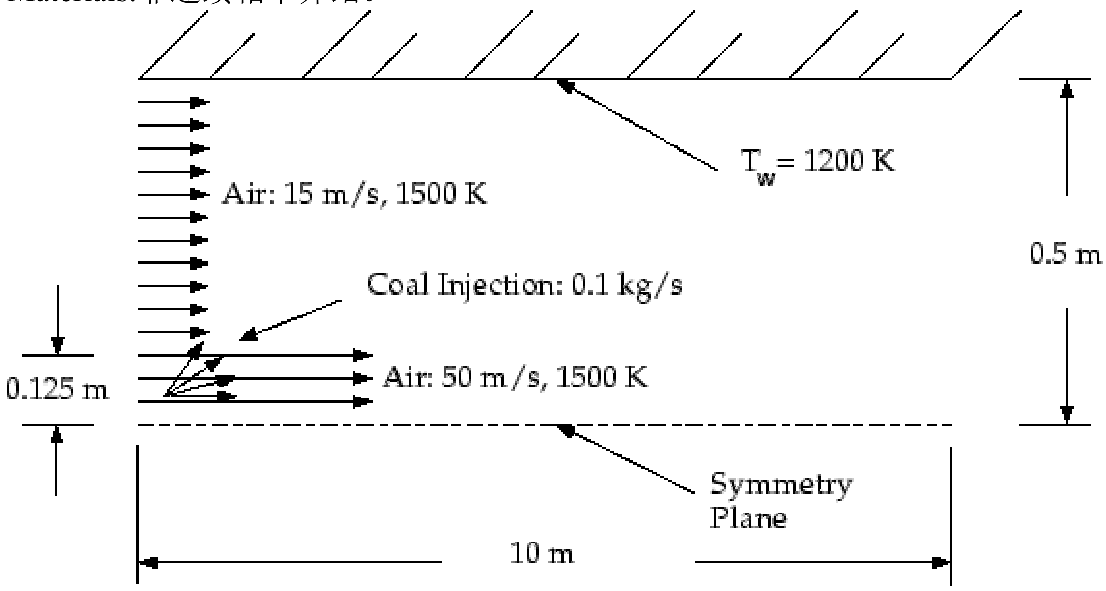


图 13.1： 两维煤粉燃烧炉

prePDF 的准备

1. 打开 prePDF
   当用非预混燃烧模型时，你需要用预处理程序 prePDF 准备一份 PDF 文档。PDF 文档包含混合分数的浓度和温度值相关的信息。在 FLUENT 解决问题的过程中将需要用到这些信息。

第一步：在 prePDF 中定义初步的绝热系统

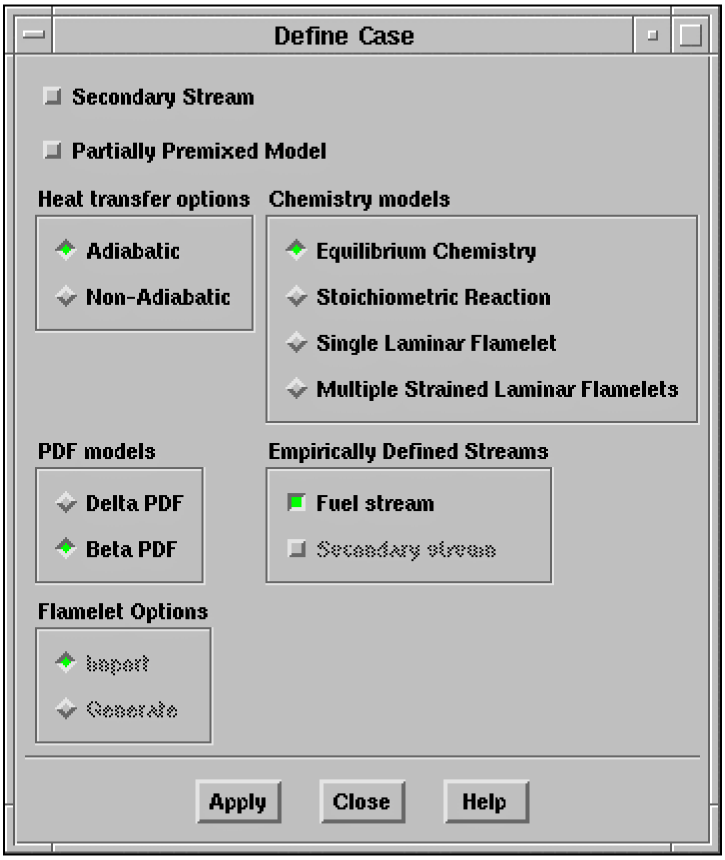
1.定义 prePDF 模型类型

你可以定义一个单一的燃料流，也可以定义一个燃料流加上一个二次流。

www.myCFD.cn

定义二次流能够让你跟踪到两股混合分数。对于煤燃烧，这样做可以使你跟踪从碳（燃料流）分离出来的挥发份物质（二次流）。在本指南中，我们不采用这种方法。我们用单一的混合分数来模拟煤。

Setup →Case...



(a)在 **Heat transfer options** 下保持 Adiabatic 的默认设置

本指南中研究的煤燃烧器是非绝热系统，燃烧器壁上有热量的传递，还有热量从气体传到煤粒。在 prePDF 中，我们必须考虑成非绝热系统。

因为非绝热系统的计算比绝热系统要耗时，因此在一开始设置 prePDF 时可以将结果考虑成绝热系统。通过计算绝热系统的 PDF 化学反应结果，你可以选取适当的系统参数以便让非绝热系统的计算更高效。特别地，绝热计算可以提供绝热火焰温度的信息、符合化学当量比的混合分数和个体成分对化学系统的

www.myCFD.cn

重要性。在所有最终需要非绝热系统模型的 PDF 计算中都将采用以绝热系统计算为开端的方法。

(b)在 **Chemistry models** 下，保持 **Equilibrium Chemistry** 的默认设置

在所有的基于 PDF 的模拟中，一般推荐选择 ***Equilibrium Chemistry***，***Stoichiometric Reaction*** 选项计算不多但是一般不怎么准确。***Laminar Flamelets*** 选项提供了包括空气动力张力引起的非平衡效应，例如超平衡的基团浓度和亚平衡的温度。这对于预测 NOx 是非常重要的， 但这里不包括。

(c)保持 **PDF models** 的默认值不变。

Beta PDF 因为比 ***Delta PDF*** 要准确因此常被推荐使用。

(d)在 **Empirically Defined Streams** 下选中 **Fuel stream** 选项。

这将允许你用经验输入选项定义燃料流。经验输入选项允许你在 H，C，N 和 O 的原子分数方面定义燃料的成分，还可以定义低位热值和燃料的热值。在元素分析和燃料热值已知的情况下，这是一个很有用的选项。

(e)点击 apply，关闭面板。

2.在系统中定义化学物质。

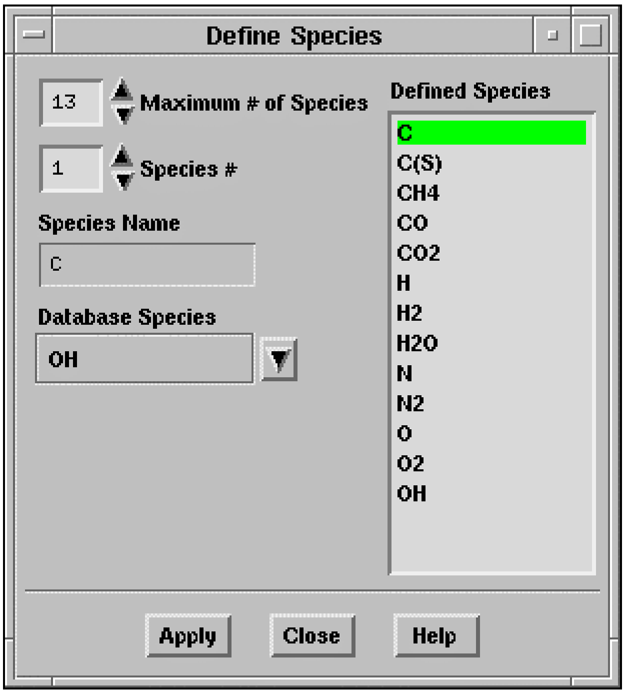
选择何种物质应该根据燃料类型和燃烧系统来确定。在 FLUENT 的使用手册中提供了选择的原则。在这里，你可以假定平衡系统由 13 种物质组成：C，C(s)，CH_4，CO，CO_2，H，H_2，H_2O，N，N_2，O，O_2，和 OH.

C，H，O，和 N 包含其中是因为燃料流需要根据经验输入方法用这些原子所占的百分数来定义。

> **!**
>
> You should include both **C** and **C(S)** in the system when the empirical input option is used.

Setup →Species →Define...

www.myCFD.cn



(a) **Maximum # of Species** 的值设定为 13。用上下箭头设定物质的最大值，也可以在<enter>后的文本框里输入值。

(b) 在 **Defined Species** 栏中选择最上面的物质（最初是 undefined）.

(c) 在 **Database Species** 向下栏中选择 C，在 **Defined Species** 栏中输入处将显示 C

(d) 在 **Defined Species** 栏中选择下一种物质（或者把 species#的数值增加到 2）。

(e) 在 **Database Species** 的向下栏中滚动，选择下一种物质（C(S)）.

(f) 重复(d)到(e)直到全部 13 种物质都被定义。

(g) 点击 apply，关闭面板。

注意：在其他的燃烧系统中，你也许想加入一些其他的化学物质，但不可以加一些不活泼的化学组份，如 NOx 等。

www.myCFD.cn

3. 确定燃料成分的输入。

燃料是已知的，工业分析如下：28%挥发份，64%碳，8%灰份。你可以用这些数据和燃料的元素分析数据在 PDF 中确定燃料的成分。燃料流的成分（碳和挥发份）如下：

转换为干燥无灰基：

Proximate Analysis	Wt %	Wt %
	(dry)	(DAF)
Volatiles	28	30.4
Char (C(s))	64	69.6
Ash	8	-

干燥无灰基的元素分析如下：

Element	Wt % (DAF)
C	89.3
H	5.0
O	3.4
N	1.5
S	0.8

为了简化模型，煤中的含硫量可以用含氮量（质量分数）来综合考虑，如下：

Element	Wt % (DAF)
C	89.3
H	5.0
O	3.4

www.myCFD.cn

N	2.3
S	-

我们还可以将最近的元素分析数据转换成下面的挥发份流的元素组成：

Element	Wt %	Moles	Mole Fraction
C	89.3	7.44	0.581
H	5.0	5	0.390
O	3.4	0.21	0.016
N	2.3	0.16	0.013
Total		12.81	

为了祥细说明燃料的成分，你还可以在最后的栏中输入摩尔分数。prePDF 可以用这些数据和煤的热值来确定燃料中的组份。

煤的低位发热量(DAF)如下：

LCVcoal.DAF=35.3MJ/kg

煤的精确热值和密度分别为 1000J/kg-K 和 1kg/m3.

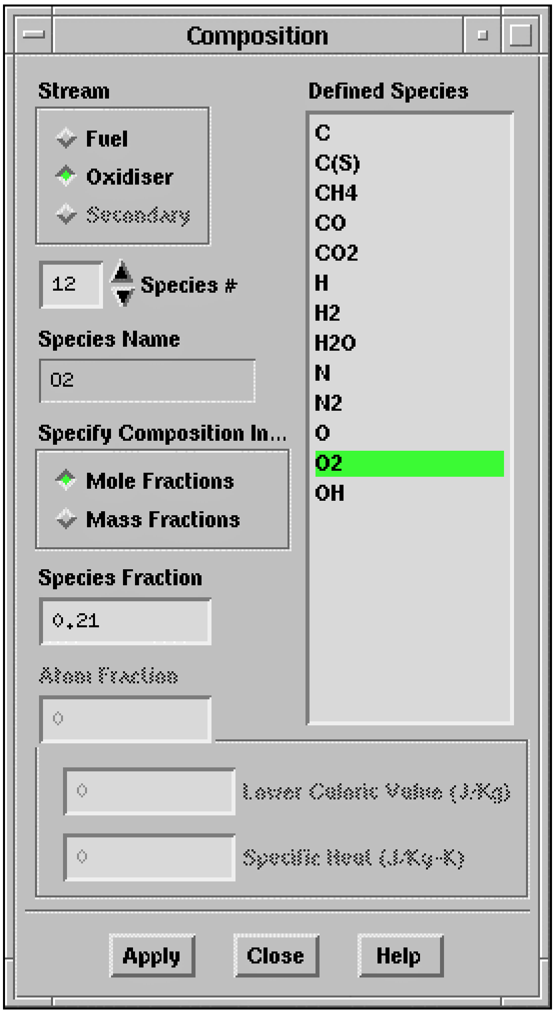
4.输入燃料和氧化剂的成分。

Setup →Species →Composition...

(a) 激活氧化剂流成分的输入框。

氧化剂的体积组成为：21%O2 和 79%N2

www.myCFD.cn



i. 在 stream 下选择 Oxidiser.

ii. 在 Specify Composition In 下，保持 Mole Fractions 的默认选择不变。

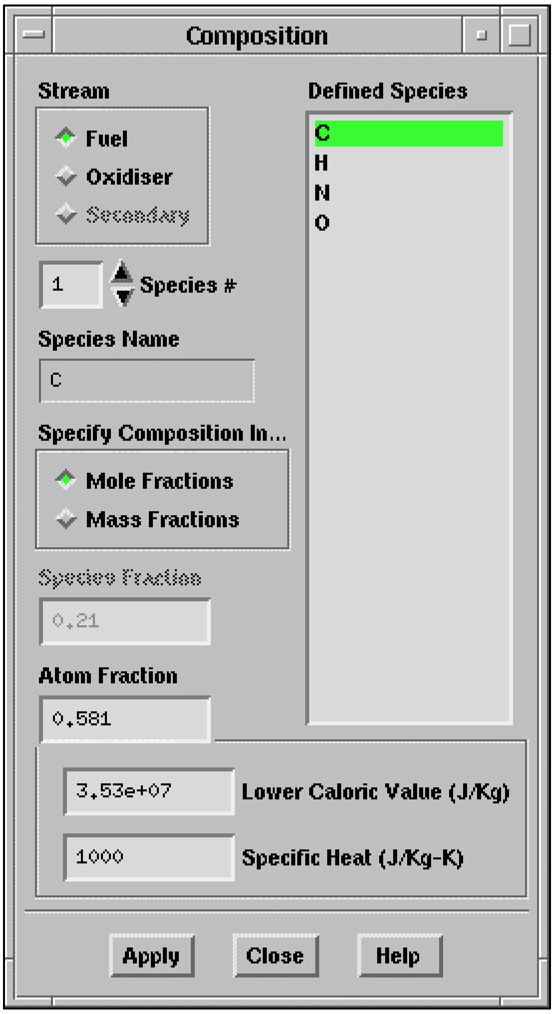
iii. 在 Defined Species 列表中选择 O2，在 Species Fraction 框中输入 0.21。

iv. 在 Defined Species 列表中选择 N2，在 Species Fraction 框中输入 0.79

(b) 激活燃料流成分的输入框。

注意：因为经验输入选项对于燃料流来说是激活了的，所以你会被提示要求输入 C，H，O，N 的原子质量分数，煤的热值等。

www.myCFD.cn



i. 在 Stream 下，选择 Fuel.

ii. 在 Specify Composition In 下，保持 Mole Fractions 的默认选择不变。

iii. 在 Defined Species 列表中选 C，并在 Atom Fraction 框中输入 0.581。

iv. 在 Defined Species 列表中选择 H，并在 Atom Fraction 框中输入 0.390

v. 在 Defined Species 列表中选择 N，并在 Atom Fraction 框中输入 0.016。

vi. 在 Defined Species 列表中选择 O，并在 Atom Fraction 框中输入 0.013。

vii. Lower Caloric Value 的值输入为 3.53e+07j/kg，Specific Heat 的值输入为 1000j/kg-K.

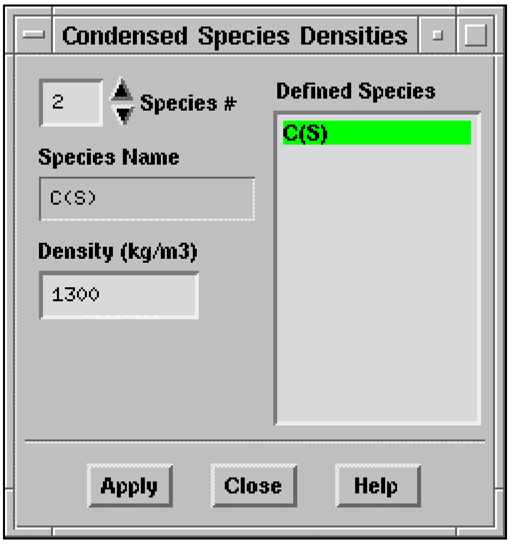
viii. 点击 apply， 关闭面板。

www.myCFD.cn

5.定义固体碳的密度。

在这儿假定值为 1300kg/m3.

Setup →Species →Density...



(a) 在 Defined Species 列表中选择 C(s).

(b) 设定密度值为 1300.

(c) 点击 apply，并关闭面板。

注意：

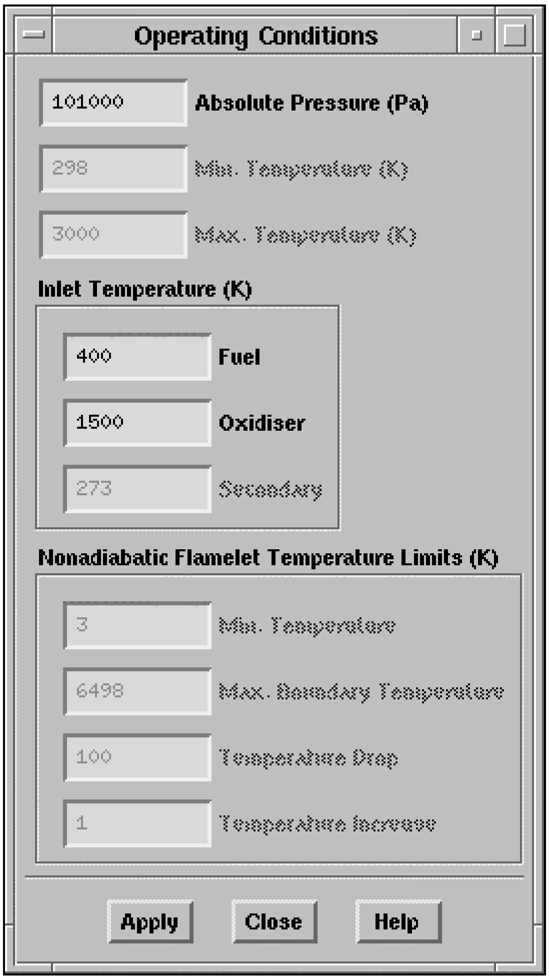
prePDF 在燃料的混合物的密度计算中将一直用到这些数据。你必须输入固定碳的密度，这密度值不同于在 FLUENT 中定义的含灰煤粒的表观密度值。

6.定义系统运行条件。

在化学平衡计算中，系统压力和进口流的温度是必须的。煤燃烧的燃料流的进口温度应该是液化作用开始时的温度。氧化剂的进口温度应该对应于空气的进口温度。在本指南中，煤的液化温度设定为 400K，空气的进口温度为 1500K. 系统压力为一个大气压。

Setup →Operating Conditions...

www.myCFD.cn



(a) 为 Fuel 和 Oxidiser 的进口温度分别设定为 400K，1500K.

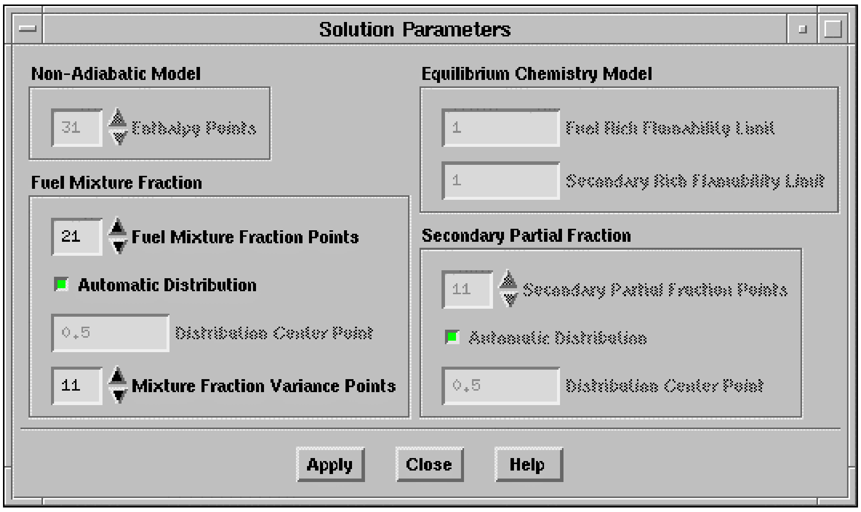
(b) 点击 apply，关闭面板。

第二步：计算和回顾绝热系统的 prePDF 查寻表。

1. 保持 PDF 解决方案的默认参数值。

Setup →Solution Parameters...

www.myCFD.cn



用 PDF 做的查寻表格的计算会为离散混合物部分的物质分子质量分数和温度在一表格中给出其计算的结果值。你可以用 Solution Parameters 来控制这些离散点的值和分布。你也可以在这面板中对 Fuel Rich Flamability Limit 进行设置。Fuel Rich Flamability Limit 选项允许你在当混合分数超出定义的充足限制的时侯进行部分平衡计算和悬浮平衡计算。允许你在燃料充足的地方通过旁路来进行复杂的平衡计算，这可以提高 PDF 计算的效率，并且比全部都假设为平衡要实际得多。在用经验定义流动的时侯，一般充足限制的值为 1.0 且不能改动。

(a)保持 **Automatic Distribution** 的默认设置不变。

这部分将允许你通过优化离散混合分数值的分布情况和使之集中在绝热火焰温度附近来提高 prePDF 的预测。如果你选择不用 ***Automatic Distribution*** 那么你需要设置分布中心点在化学当量比尺度混合分数的富集一侧。

(b) 点击 apply，并关闭面板。

2. 保存输入值(coal_ad.inp).

File →Write →Input...

3. 绝热系统的化学反应的计算。

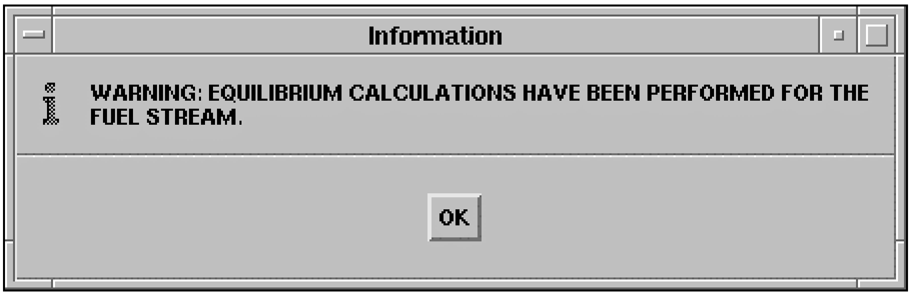
Calculate →PDF Table

在计算中，prePDF 首先从数据库中找到热力学数据。然后在分散相混合分数/混合分数变化点（在 Solution Parameters 面板中定义的 21 处）的温度、成份

www.myCFD.cn

和密度的时间平均值被计算。计算结果是一组表格。包含这两个参数在每个离散值的组份摩尔分数、密度和温度的时间平均值。prePDF 将在控制窗口中报告查寻表格的建立过程。

当计算完成后，prePDF 将通知你燃料入口的平衡计算已经结束。在预知的平衡条件不影响你的建模输入的时侯，除非燃料流为气体燃料入口，那么你都可以简单地承认通知。



4. 保存绝热的 PDF 文件（coal_ad.pdf）

   File → Write → PDF...

   (a) 在文件类型下面，选择 **Write Formatted File**

当你写入一个 PDF 文件时，PDF 将默认地保存一个二进制文件。如果你是在一台机器上用 PDF 文件，那么你可以用默认的 ***Write Binary File*** 选项来保存文件。但是，如果在不同的机器上用 PDF 文件的话，你就应该为 PDF 文件保存一个 ASC11 文件（格式化的）。应该注意到它将比二进制文件占用更多的硬盘空间。

   (b) 在 Solver 下选择 FLUENT6。

   (c) 为 Pdf File 命名为 coal_ad.pdf.

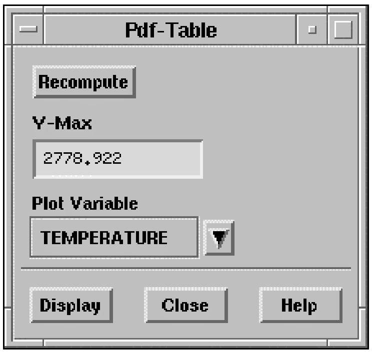
   (d) 点击 OK 写入文件。

5. 检查绝热系统中的温度和混合分数的关系。

   绝热系统的计算结果提供了一些参考。这些参考针对将在非绝热计算中用到的系统。

   Display → PDF Table...

www.myCFD.cn



(a) 在 Plot Variable 列表中选择 **TEMPERATURE**，点击 Display 一生成表格（图 13.2）。

温度显示表明了时间平均系统温度是怎样随着平均混合分数以及它的变化而变化的。

温度和混合分数的关系表明了当燃料混合分数大约为 0.1 的时侯火焰的最高温度大约为 2750K。这最好温度是由于燃烧空气的高温预热造成的。

注意：在绝热系统计算中报告的最高绝热温度将用来作为选择非绝热系统计算中的最高温度的参考。

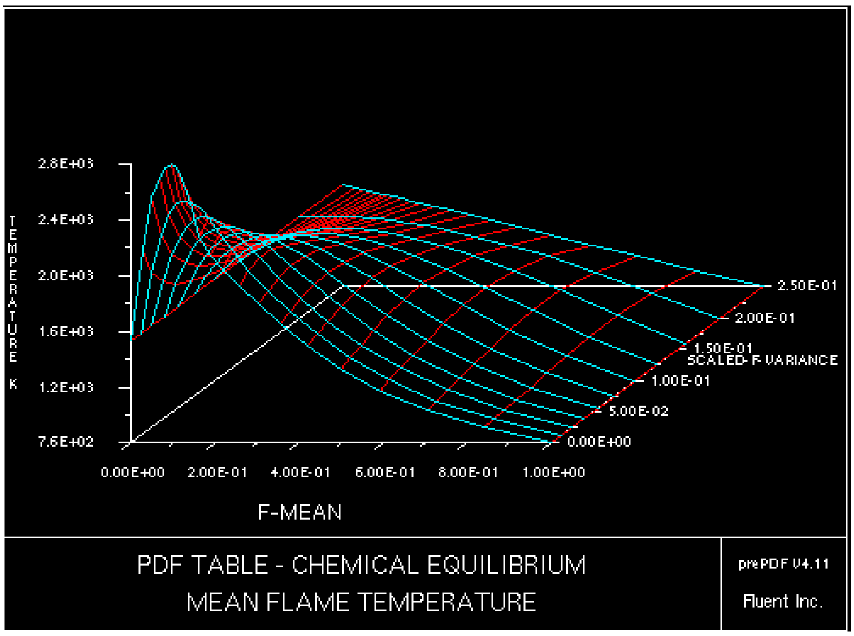


图 13.2：时间平均温度：绝热的 prePDF 计算

www.myCFD.cn

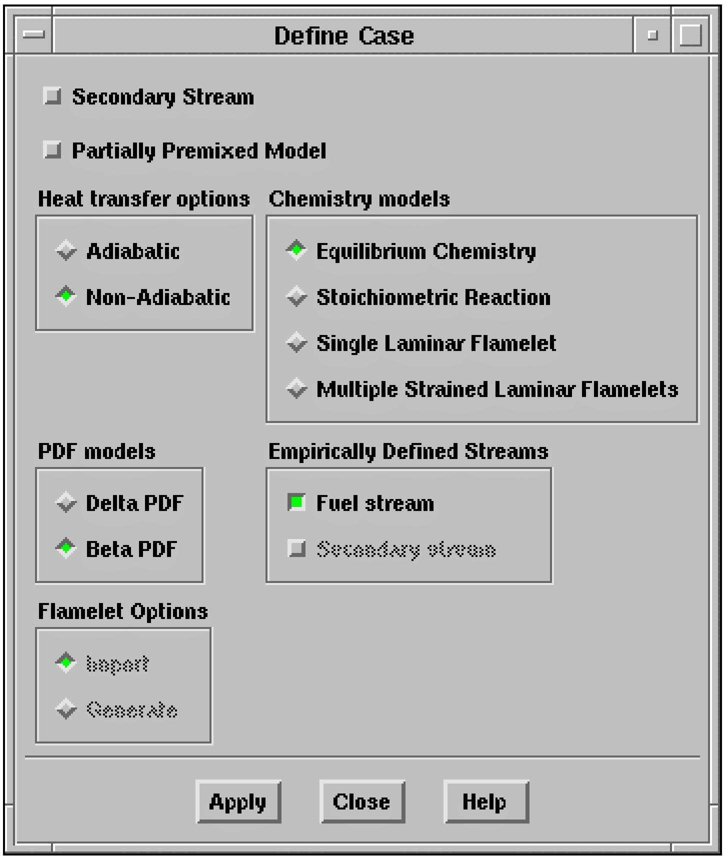
第三步：创建和计算非绝热 prePDF 系统。

创检一个非绝热 prePDF 系统需要你做以下的：
重新定义一个非绝热系统。
设定系统峰值温度（建立在 2750K 的绝热结果上的）。

在这些修改之后，你还要重新计算系统化学反应和保存一个在 FLUENT 中用的非绝热 PDF 文件。

1. 定义非绝热的 prePDF 模型类型。

Setup →Case...



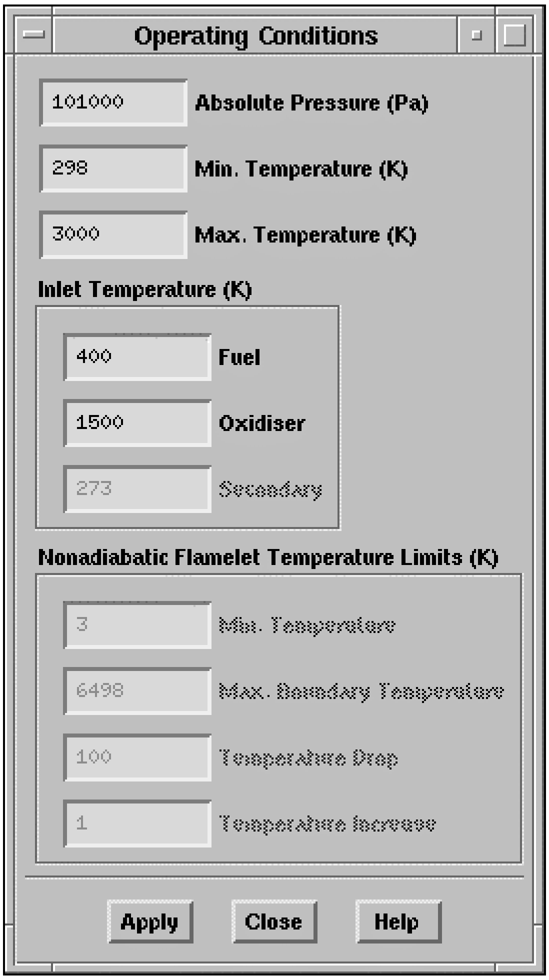
(a) 在 **Heat transfer options** 下选择 **Non-Adiabatic**，点击 **apply.**

2.设定系统温度限制。

www.myCFD.cn

当 PDF 计算为非绝热的时侯，系统的最低和最高温度是必须的。
最低温度应该比最低边界条件温度值（例如入口温度或者墙壁温度）要低几度。在煤燃烧系统中，最低系统温度应该也要设定得比挥发份开始从煤中挥发的温度低。在这儿，液化作用开始时汽化的温度设定为 400K.因此，系统的最低温度设定为 298K（默认值）。
最高温度至少应该比在先前绝热计算中所得的峰值温度高 100K。这儿，最高温度选取为 3000K，适当地高出绝热系统的峰值温度 2750K。

Setup → Operating Conditions...



(a) 为 Min. Temperature 的值输入 298，为 Max. Temperature 的值输入 3000。

(b) 点击 apply，并关闭面板。

3.保存非绝热系统的输入值（coal.inp）。

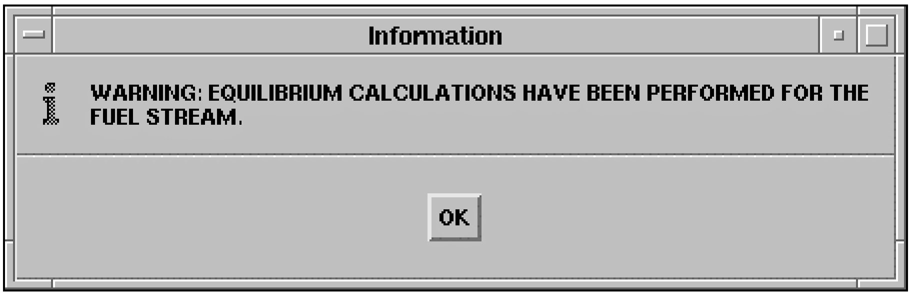
File →Write →Input...

4.非绝热 PDF 查寻表格的计算。

Calculate →PDF Table

非绝热的 prePDF 计算要比绝热计算多出很多。prePDF 首先要去数据库中访问热力学数据。接着，焓表会被初始化，焓值的栅格将做适当的调整以适合解决入口条件和求解参数。然后，然后在分散相混合分数/混合分数变化点（在 Solution Parameters 面板中定义的 21 处）的温度、成份和密度的时间平均值被计算。计算结果是一组表格。包含这三个参数在每个离散值的组份摩尔分数、密度和温度的时间平均值。

当计算完成后，prePDF 会警告说燃料入口的平衡计算已经做完。当你在对煤或者是液体燃料建模的时侯，你可以简单地答复这警告，这对你的输入没有影响。



5.写 PDF 的输出文件(coal.pdf)。

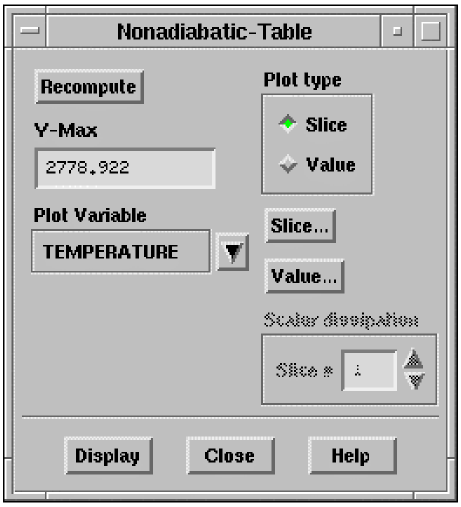
File →Write →PDF...

(a) 在 File Type 下选择 **Write Formatted File.**
(b) 在 Solver 下选择 FLUENT6。
(c) 为 Pdf File 命名为 coal.pdf。
(d) 点击 OK 以写入文件。

6. 回顾一部分 prePDF 准备的 3D 的查寻表。

Display →Nonadiabatic Table...

www.myCFD.cn



(a)在 **Plot Variable** 向下列表中选择 **TEMPERATURE**，点击 Display(图 13.3)。注意：对 3D 查寻表的回顾是一部分一部分的进行的。在默认情况下，被选中部分是与绝热焓值相对应的。这显示起来与在绝热计算中创建的查寻表很相似。你也可以选择连续焓值的其他部分来显示。

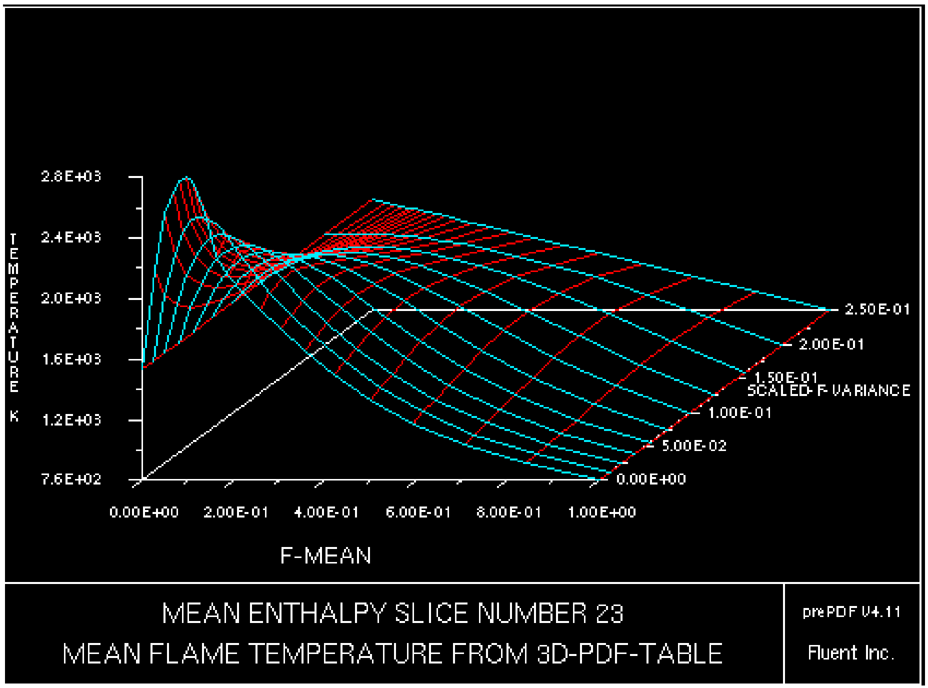
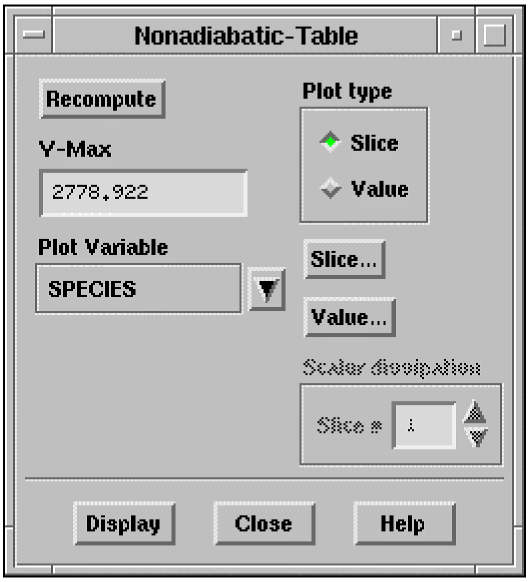


图 13.3：根据绝热焓得到的非绝热的温度表

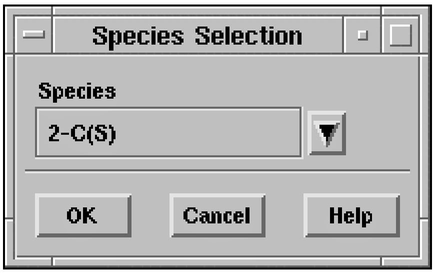
7.在非绝热系统中检查物质和混合分数的关系。

Display →Nonadiabatic Table...



(a) 从 **Plot Variable** 向下列表中选择 SPECIES，这将自动打开 ***Species Selection*** 面板。

(b) 在 **Species Selection** 面板中，在 Species 向下列表中选择 C(s)，并点击 OK。



(c) 在 **Nonadiabatic-Table** 面板点击 Display，以生成表格（图 13.4）。

7. 按照上面的操作显示 CO 的瞬时分子质量分数（图 13.5）。

www.myCFD.cn

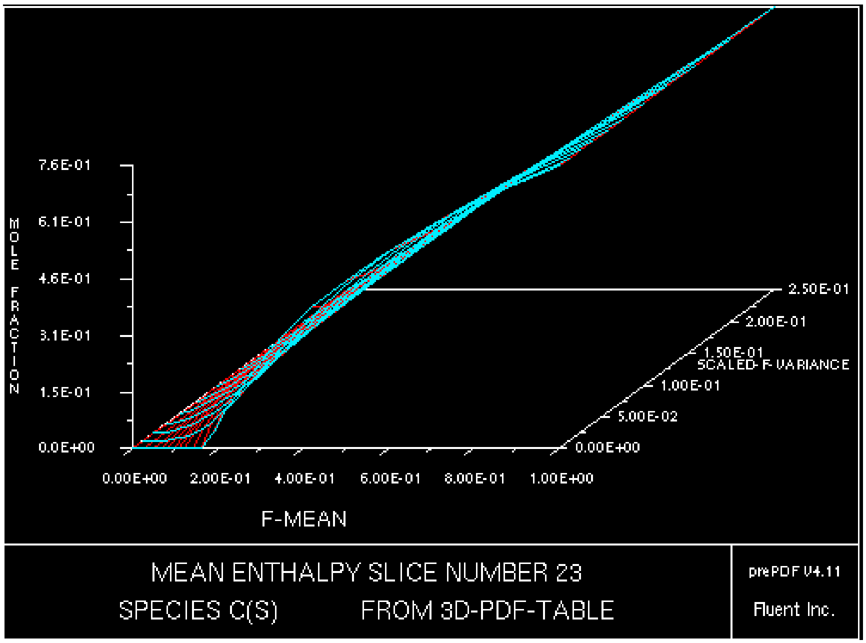


图 13.4：时间平均 C（S）的摩尔分数：非绝热的 prePDF 计算

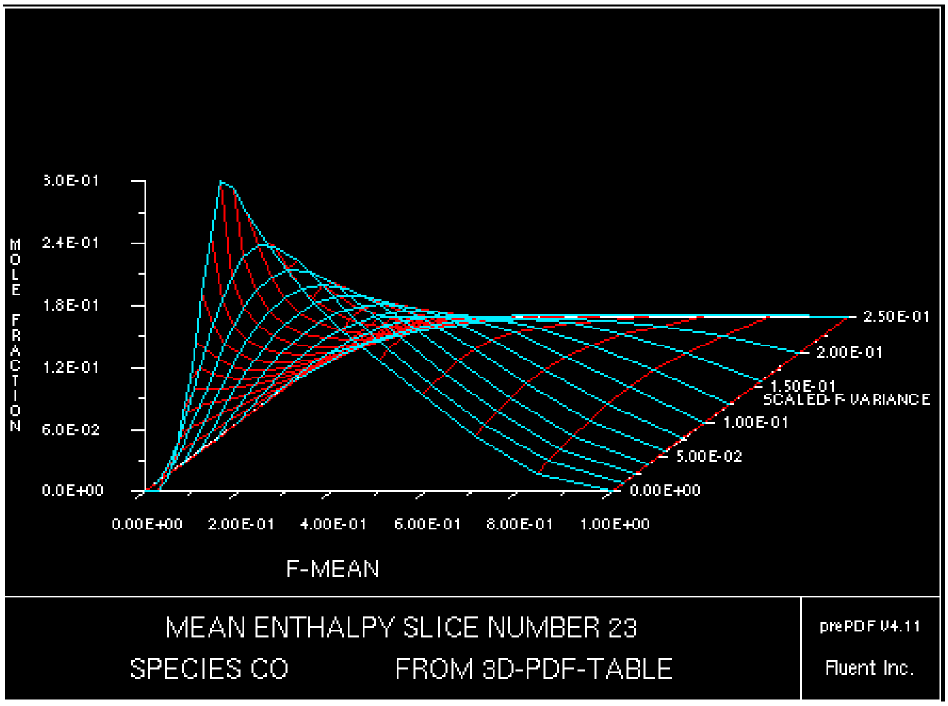


图 13.5：时间平均 CO 的摩尔分数：非绝热的 prePDF 计算

www.myCFD.cn

8. 退出 prePDF。
   File----Exit

准备 FLUENT 计算。

在 PDF 的文件创建已经完成的情况下，就可以准备用 FLUENT 中的非预混燃烧模型预测煤粉炉的燃烧流了。

1. 把 FLUENT 中的文件 coal/coal.msh 拷贝到你的工作路径下(如指南 1 中的)。如图 13.1 所示，网格文件 coal.msh 是用四边形网格化分几何体的。
2. 打开 FLUENT 的 2D 类型。

第四步：网格。

1. 读入 2D 的网格文件 coal.msh.
   File →Read →Case...

FLUENT 的控制窗口将报告网格包含 1357 个四边形网格单元。

2. 检查网格。
   Grid-----Check
   网格检查不应该报告说有任何错误以及负体积数。
3. 显示网格（图 13.6）。
   Display →Grid...

由于网格求解和其尺寸的大小的缘故，你会发现显示网格的大致轮廓和放大网格的某一部分是很有用的。

注意：你可以用鼠标键（默认为右键）来找到边界的标志。如图 13.7 所示，上流边界包含两个速度入口（低速和高速空气流），下流边界为压力出口，上边界为墙，下边界为对称平面。

www.myCFD.cn

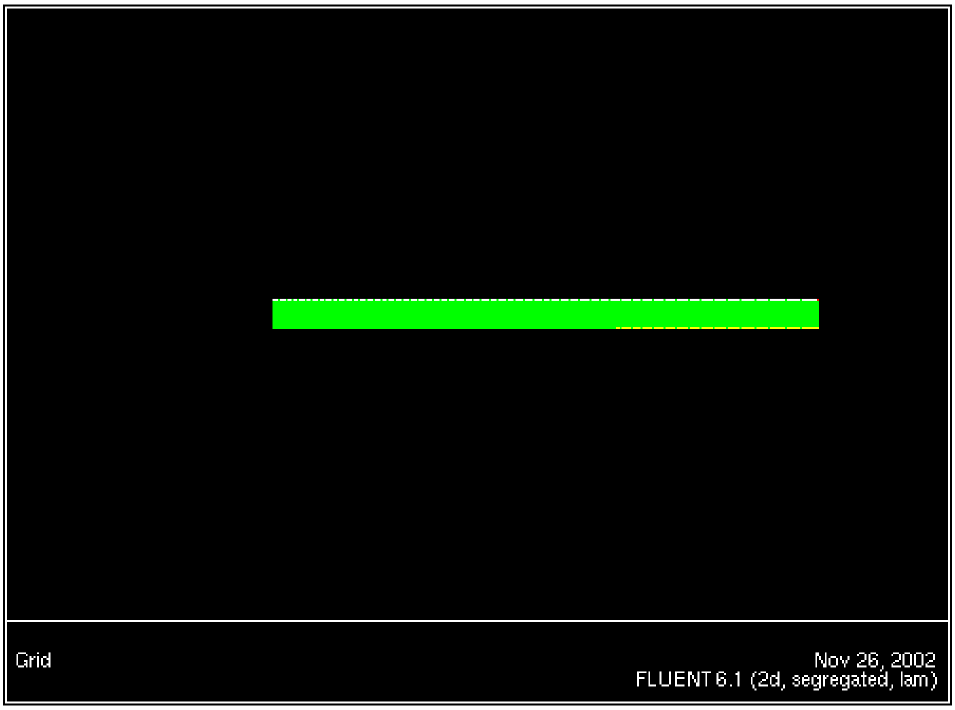


图 13.6：两维煤粉炉的网格

www.myCFD.cn

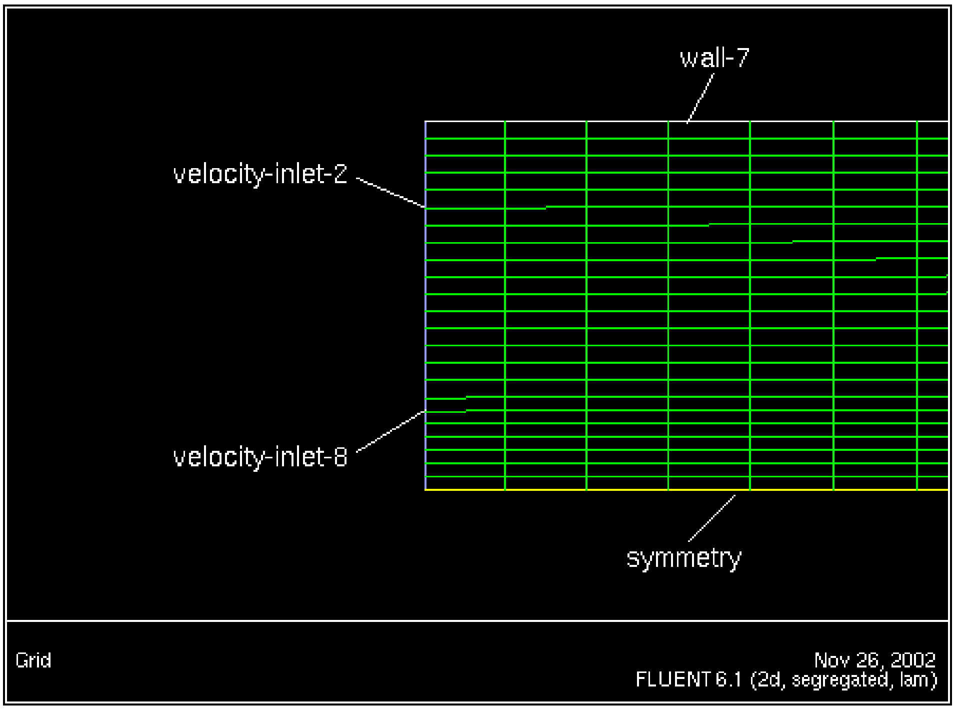


图 13.7：边界类型有文字说明的网格图形显示

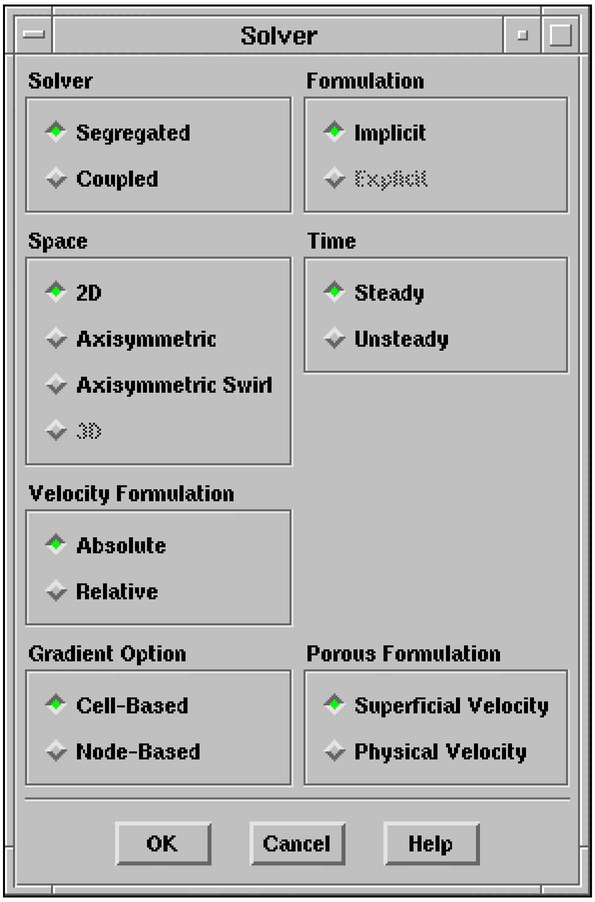
第五步：建立求解模型：连续相（气体）。

1.保持默认的非耦合求解。

只有在非耦合求解时非预混燃烧模型才是可用的。

Define →Models →Solver...

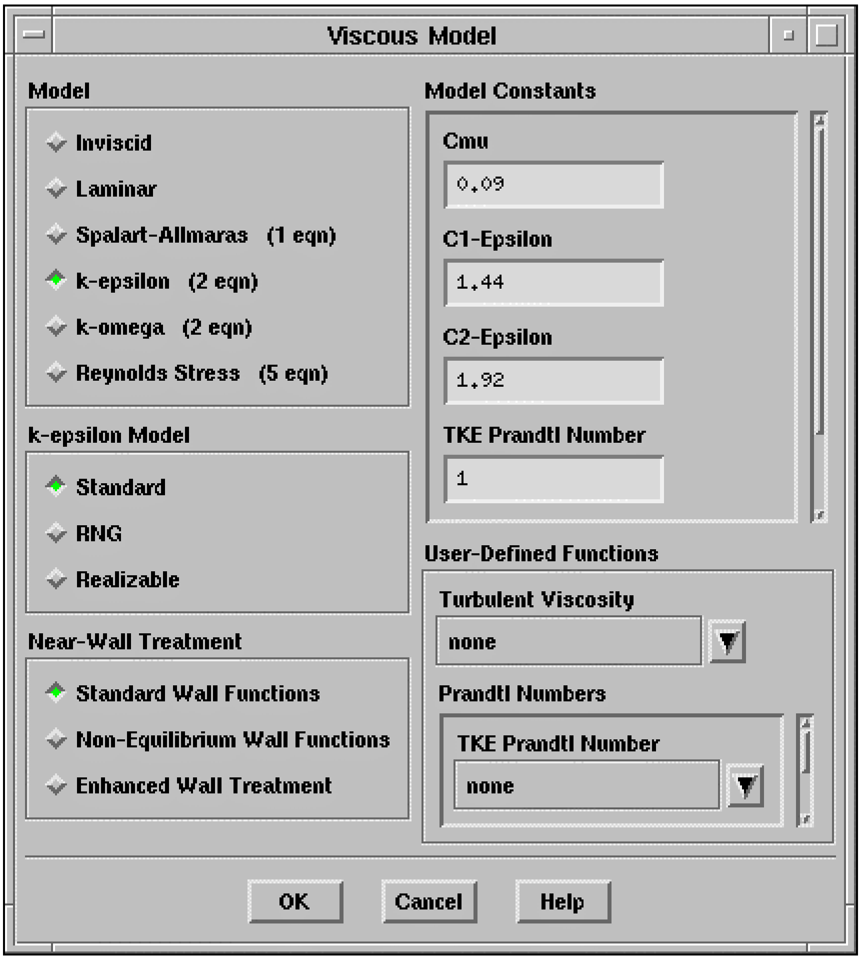
www.myCFD.cn



3. 打开标准的 k- ϵ湍流模型。

Define →Models →Viscous...

www.myCFD.cn



注意：就如在问题描述里说明的那样，流动的雷诺数为 100000，因此，流动为湍流，高雷诺数的 k- ϵ湍流模型将被采用。

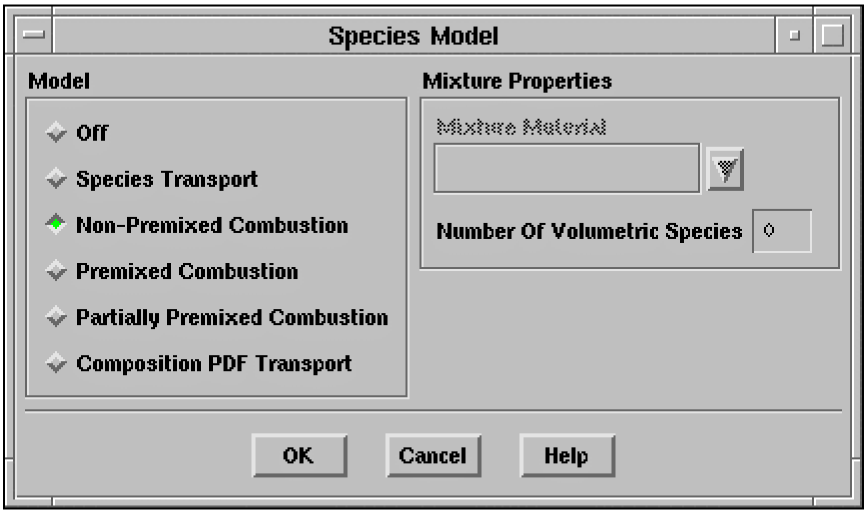
3.打开非预混燃烧模型。

Define →Models →Species...

(a) 在 Model 下选择 **Non-Premixed Combustion**。

面板将示出相关的输入数据。

www.myCFD.cn



当你点击 OK 时，FLUENT 将打开一个对话框，要求输入在模拟中要用到的 PDF 文件。

(b) 在选择文件对话框中，选择并读入非绝热的 PDF 文件(coal.pdf)。在控制窗口中，FLUENT 将报告正在读入包含有 13 种物质的非绝热 PDF 文件。也将报告说一种被命名为 ***pdf-mixture*** 的新物质已被创建。这种混合物含有 13 种物质。它们以及其热力学性质是在 prePDF 中定义的。

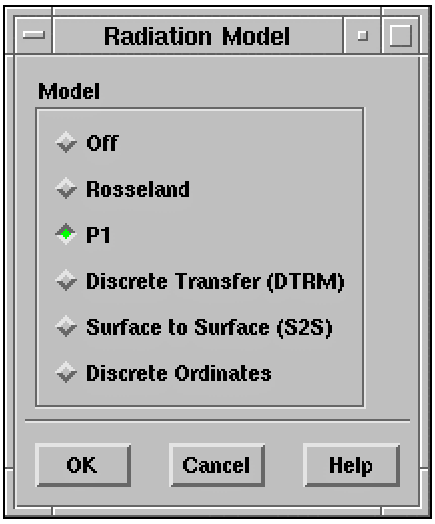
FLUENT 会弹出一对话框说有用物质的性质已经更改。你可以稍后定义其性质，你可以在对话框中点击 OK 以答复该对话框。

注意：当 FLUENT 读入非绝热 PDF 文件时，它会自动激活能量求解方程，所以你可以不用打开能量面板激活传热方程。

4.选择 PI 以激活辐射模型。

Define →Models →Radiation...

www.myCFD.cn



PI 模型是能求解气体和颗粒间辐射传热的模型的其中之一。

第六步：建立求解模型：离散相。

FLUENT 会用离散相模型来模拟煤粉的流动。这模型会预示出单个煤粒的轨迹，每一个都代表煤的连续流（或质量流）。在交替计算离散相的轨迹和气相连续方程时，煤粒与气体间热量，动量，质量的传递都将包含其中。

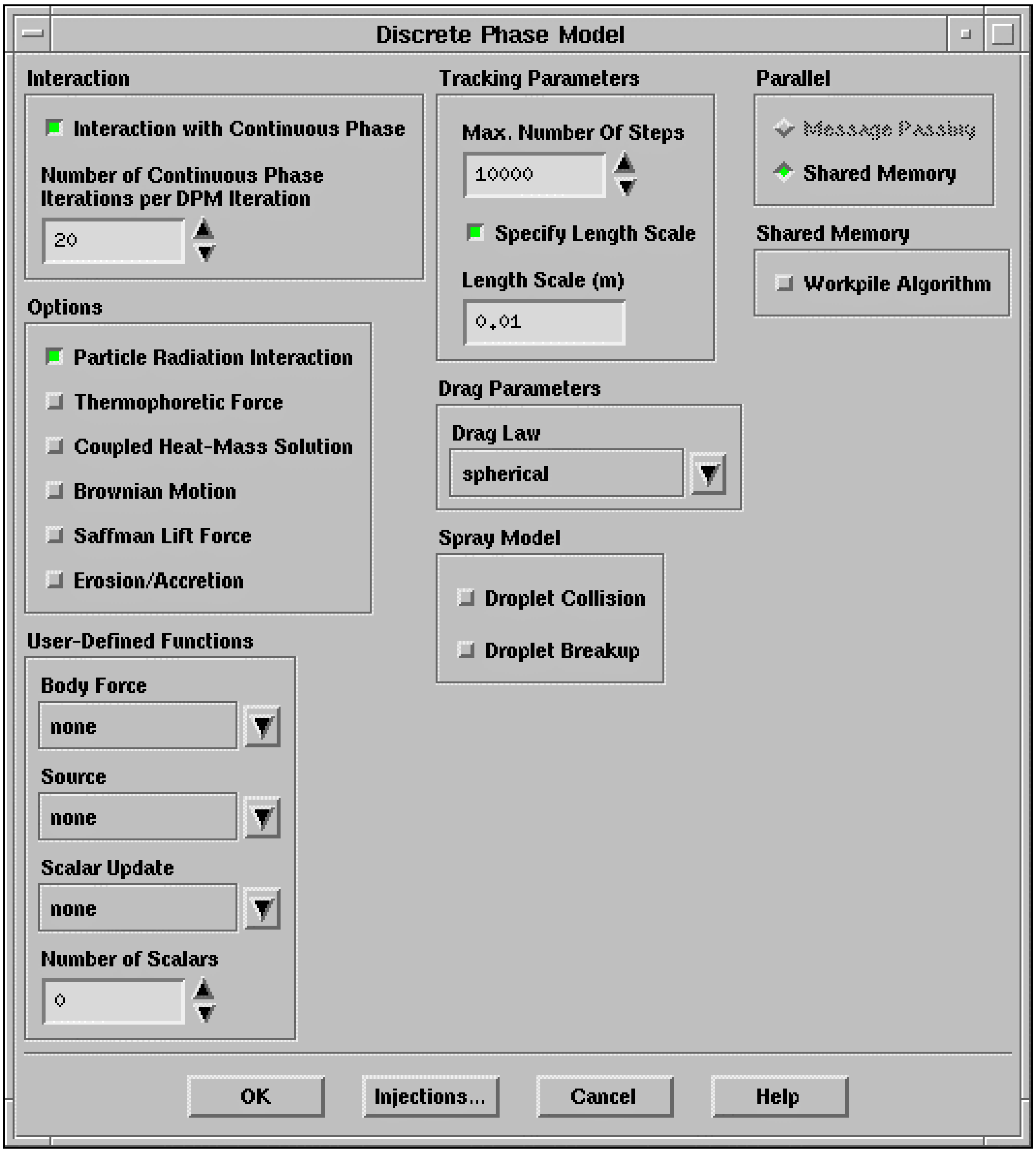
1. 耦合离散相与连续相流动预报。

Define →Models →Discrete Phase...

(a) 在 Interaction 下，选中 **Interaction with Continuous Phase** 选项。

这选项将激活耦合求解，在求解中，离散相的轨迹（还有传递到煤粒的热量和质量）将会对气相方程产生影响。如果不选中这选项，你仍然可以看到煤粒的轨迹，但上述参数对连续相的流动将没有任何影响。

www.myCFD.cn



(b)定义耦合参数，设定 **Number of Continuous Phase Iterations per DPM Iteration** 为 20。

在一些有着高质量粒子和较大网格尺寸的问题中，应该给这参数设定高一点的值。这对低频率轨迹是很有好处的，为了更完全地聚合气相方程，应先对轨迹进行反复的计算。

(c)在 **Tracking Paramete** 下，为 Max. Number of Steps 输入 10000。

轨迹计算步数的限制是用来中止停留在范围内（例如在再流通范围内）的颗粒轨迹的。

(d)打开 **Specify Length Scale**，保持 Length Scale 的默认值 0.01m。

Length Scale 控制离散相轨迹综合中用到的每一次步数的大小。这儿用到的值 0.01m 意味着 10m 长的一段轨迹要计算 1000 步左右。

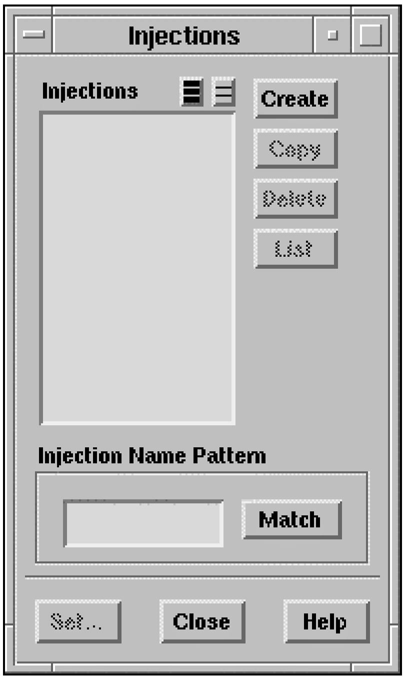
(d) 在 Options 下，选择 **Particle Radiation Interaction**。

2.创建离散相煤的射入轨迹。

煤粉流用初始条件定义，这初始条件认为煤是进入到气体中的。在颗粒的运动方程（轨迹计算）的每一次综合中，FLUENT 将用这些初始条件做为计算的开始点。

在这儿，煤的总质量流的比率（在管道的一半宽度上）为 0.1kg/s（每米深度）。在 70 到 200 微米直径方向上，假设颗粒是服从 *Rosin-Rammler* 尺寸分布的。其他的初始条件（速度，温度，成分）以及适当的输入程序将在下面做详细说明。

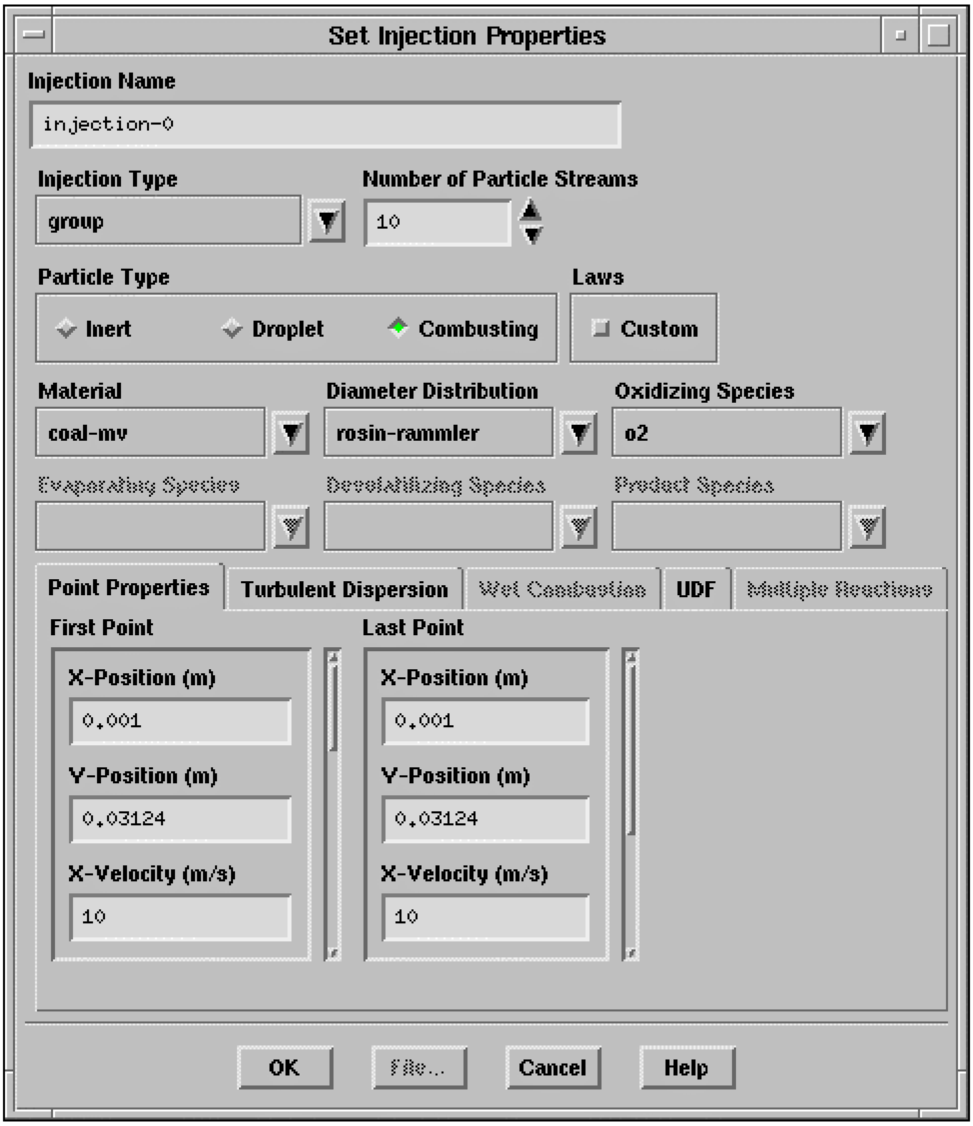
Define →Injections...



(a)在 Injections 面板中点击 Creat 按钮。

www.myCFD.cn

这将打开 ***Set Injection Properties*** 面板，在这面板中定义说明煤粒流的初始条件。



在 ***Set Injection Properties*** 面板中你将定义煤粒流的初始条件。煤粒流将被定义为一组有 10 种不同初始条件的流，除了直径以为全部参数都一样，直径服从 *Rosin-Rammler* 粒径分布规律。

(b)在 **Injection Type** 向下列表中选择 Group。

(c)设定 **Number of Particle Streams** 为 10 。

www.myCFD.cn

这些输入数据告诉 FLUENT 通过 10 种离散的颗粒流来指定定义的初始条件的变化范围，每种流都有自己的离散初始条件的设定值。在这儿，因为射入组中直径是多种多样的，这将导致 10 种离散的颗粒直径。

(d)在 Particle Type 下，选择 Combusting。

通过选择 Combusting，可以激活煤液化作用和煤燃烬的子模型。类似地，如果选择 Droplet 将会激活小液滴蒸发和沸腾的子模型。

(e)在 Material 向下列表中选择 Coal-mv。

Material 列表包含了 FLUENT 数据库中的燃烧颗粒物质。你可以在这列表中选择一种适当的煤，然后在 Materials 面板中对其进行修改（见第八步：物质：离散相）。

(f)在 **Diameter Distribution** 向下列表中选择 **rosin-rammler**。

煤粒的尺寸分布是不均匀的，其直径大小从 70 微米到 200 微米。这些尺寸分布是与 *Rosin-Rammler* 方程相适应的，其平均直径大小为 134 微米，展开参数为 4.52。

(g)在 **Oxidizing Species** 向下列表中选择 O2（默认值）。

(h)在 **Point Properties** 下指定初始条件的变化范围，为 **First Point** 输入下列数据。

- **X-Position**: 0.001 m
- **Y-Position**: 0.03124 m
- **X-Velocity**: 10 m/s
- **Y-Velocity**: 5 m/s
- **Temperature** = 300 K
- **Total Flow Rate**: 0.1 kg/s
- **Min. Diameter**: 70e-6 m
- **Max. Diameter**: 200e-6 m
- **Mean Diameter**: 134e-6 m

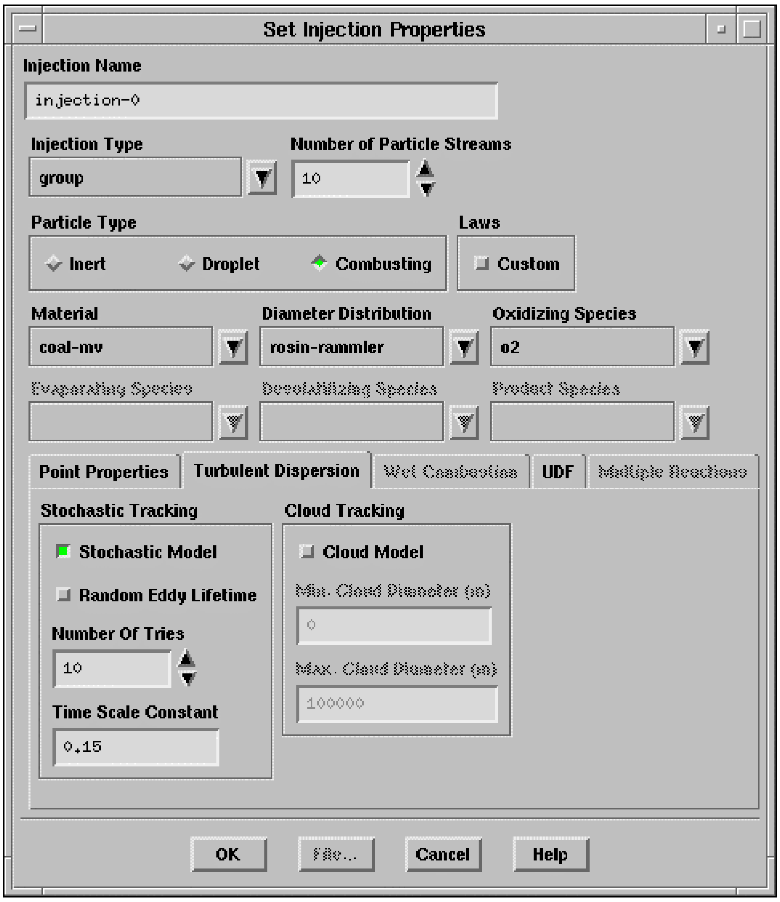
www.myCFD.cn

- **Spread Parameter**: 4.52

(i)在 Last Point 下，为位置，速度，温度指定输入数据。

(j)定义湍流差量。

i.点击 **Turbulent Dispersion**，面板将示出相关的输入数据。



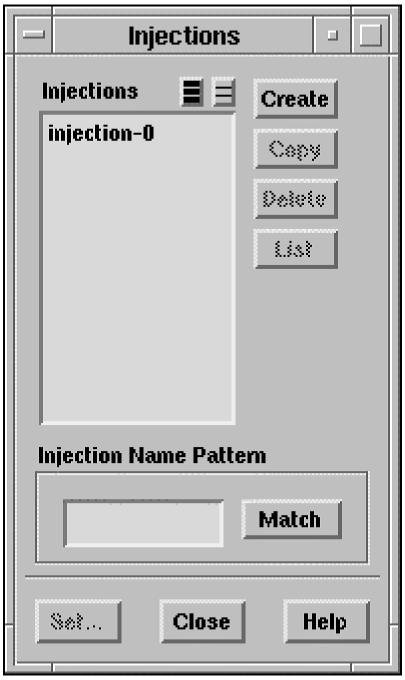
ii.在 Stochastic Tracking 下，打开 Stochastic Model。

随机跟踪可以模拟湍流颗粒轨迹的作用。在模拟实际颗粒的分散，将随机跟踪包含其中是很重要的。

iii.设定 **Number of Tries** 为 10。

注意：新的射入流（默认名为 ***injection-0***）出现在了 ***Injections*** 面板中。

www.myCFD.cn



这面板可以用来拷贝和删除射入流的定义。

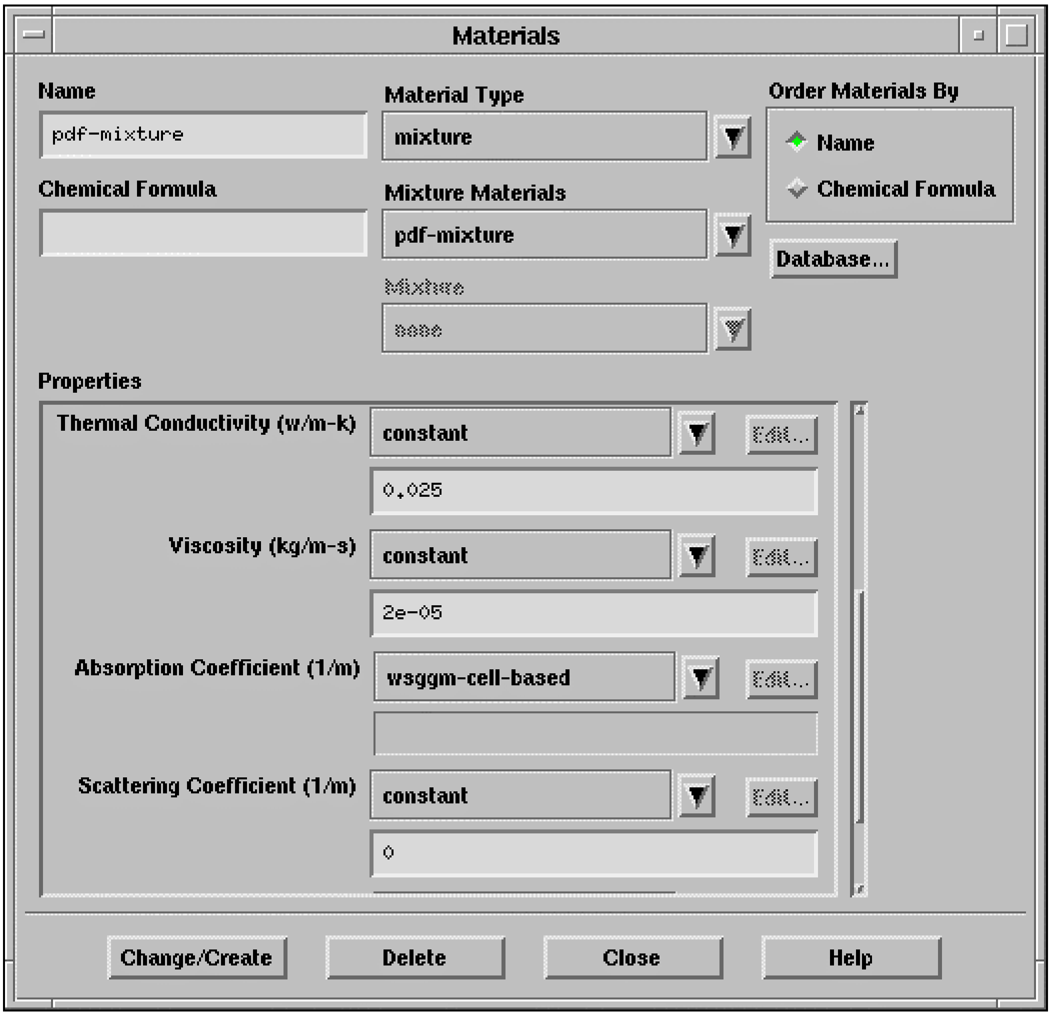
你也可以选择一种已经存在的射入流并把用它定义的颗粒流的初始条件列在控制窗口中。Injection-0 组的列表显示了 10 种颗粒流，每一种在指定的从 *Rosin-Rammler* 分布中得到的最大值和最小值之间有着不同的直径值和不同的质量流率。

第七步：物质：连续相。

当需要用到非预混燃烧模型时，来至于 prePDF 化学数据库的热力学数据包括密度，比热和成份的焓将被使用。这些性质将作为 ***pdf-mixture*** 物质被转换到 FLUENT 中去，这其中只有可以传输性质，如粘性和导热系数才需要定义。

Define →Materials...

www.myCFD.cn



1. 设定 **Thermal Conductivity** 为 0.025（常数）。
2. 设定 **Viscosity** 为 2e-5(常数)。
3. 在 **Absorption Coefficient** 的向下列表中选择 wsggm-cell-based。
   这里用 *weighted-sum-of-gray-gases* 模型指定了一个随着成分变化而变化的吸收系数。更多细节问题请参看指南。
4. 点击 **Change/Create** 按钮。

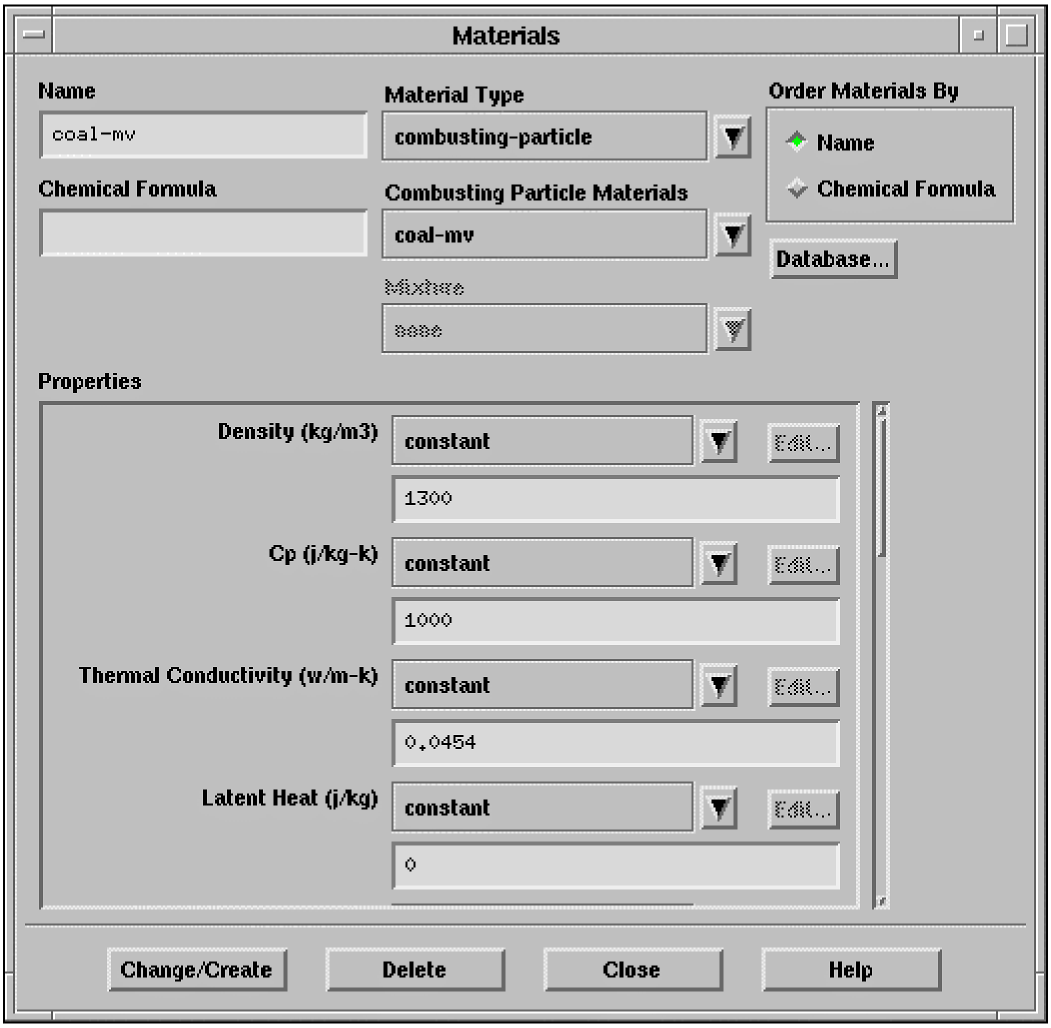
注意：你可以点击 ***Mixture Species*** 旁边的 View....按钮来查看包含在 ***pdf-mixture*** 物质中的物质。这些物质是在 prePDF 中建立化学系统的过程中包含进来的。注意到 ***Density*** 和 ***Cp*** 是不能被改变的：这些参数储存在非预混燃烧的查寻表中。prePDF 用气体的法则来计算混合物的密度，用质量占优的混合法则

www.myCFD.cn

来计算混合后的 Cp。虽然你可以改变单个组份的参数，但在用非预混燃烧模型的情况下，你不应该那样做。这将与在 prePDF 中创建的查寻表格矛盾。

第八步：物质：离散相。

Define →Materials...



1. 从 **Material Type** 列表中选择 combusting-particle。

combusting-particle 物质类型能出现是因为你已经用 ***Set Injection Properties*** 面板激活了燃烧颗粒。其他的离散相物质类型（小液滴，惰性颗粒）在你已经创建了这些类型的射入流的情况下也会出现在列表中。

2. 在 **Combusting Particle Materials** 列表中，保持当前的选择（coal-mv）。

   这是你从 ***Set Injection Properties*** 面板的数据选项列表中选择的燃烧颗粒物质类型。如果需要的话，另外的燃烧颗粒类型物质可以从参数数据库中拷贝。你可以点击 ***Database...***按钮来查看可用的 ***combusting-particle*** 物质。这儿，你需要简单地改动所选物质 coal-mv 的参数设置。

3. 为物质 coal-mv 设置下列常量的参数值。

Density	1300 kg/m ^{3}
Cp	1000 J/kg-K
Thermal Conductivity	0.0454 w/m-k
Latent Heat	0
Vaporization Temperature	400 K
Volatile Component Fraction (%)	28
Binary Diffusivity	5e-4 m ^{2}/s
Particle Emissivity	0.9
Particle Scattering Factor	0.6
Swelling Coefficient	2
Burnout Stoichiometric Ratio	2.67
Combustible Fraction (%)	64

FLUENT 将用到下列输入值：

Density 将影响颗粒的惯性和质量力（当重力加速度不为 0 时）。

Cp 决定了颗粒温度变化所需要的热量。

www.myCFD.cn

Latent Heat 是挥发份蒸发所需要的热量。当在煤燃烧中用非预混燃烧模型的时侯，这值通常设为 0。如果为了节省燃料的热量，而选中挥发份成份的话，那么潜热也会包含在其中（但是，如果水被作为气相的水蒸汽而含在挥发分中的话，你就应该用非 0 的潜热值）。

Vaporization Temperature 是煤开始液化时的温度。它应该与 prePDF 中用到的燃料入口温度相等。

Volatile Component Fraction 确定了液化的每一煤粒的质量。

Binary Diffusivity 颗粒表面的氧化剂的扩散率，用在有扩散率限制的煤燃烬率方面。

Particle Emissivity 颗粒的辐射系数。在计算辐射到颗粒上的热量的时侯会用到。

Particle Scattering Factor 颗粒的散射系数。

Swelling Coefficient 确定了煤在液化的过程中直径的变化。膨胀系数为 2 就意味着在挥发份的挥发过程中颗粒尺寸会变为原来的两倍。

Burnout Stoichiometric Ratio 用在有扩散控制的燃烬率的计算方面。另外，在用非预混燃烧模型时，这参数将没有用。当采用有限速率化学的时候，化学计量比定义了需要单位质量碳的氧化剂的质量。默认值为将 C(s)氧化成 CO_2 的所需量。

Combustible Fraction 是煤粒中碳的质量分数。它决定了被碳燃烬子模型消耗的每一煤粒的质量。

!

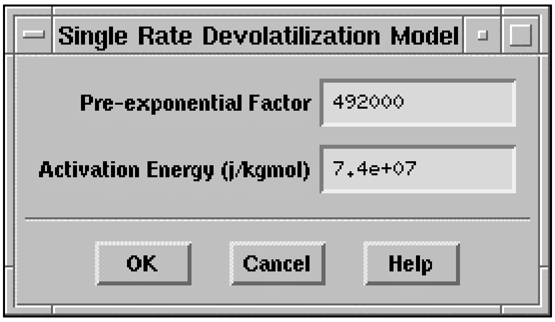
The settings for the **Vaporization Temperature**， **Combustible Fraction**， and **Volatile Component Fraction** inputs should all be consistent with your **prePDF** inputs. (See Step 1: Define the Preliminary Adiabatic System in **prePDF**.)

4 .为 **Devolatilization Model** 选择 **Single Rate Devolatilization Model**。

(a)在 **Devolatilization Model** 向下列表中选择 **single-rate** 选项。

www.myCFD.cn

这将打开 ***Single Rate Devolatilization Model*** 面板。

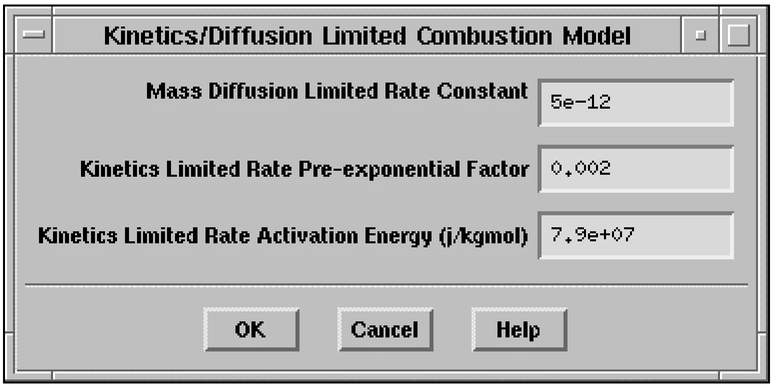


(b)保持面板中默认的液化模型参数。

5.为 **Combustion Model**.选择 **kinetics/diffusion-limited**。

(a)在 **Combustion Model** 向下列表中选择 **kinetic/diffusion-limited** 选项。

这将打开 ***Kinetics/Diffusion Limited Combustion Model*** 面板。



(b)保持默认值不变。

6.点击 **Change/Create**，并关闭 **Materials** 面板。

第九步：边界条件。

Define →Boundary Conditions...

提示：你可以在图形显示窗口中在想要选择的边界区域处点击鼠标键（默认为右键）。FLUENT 将在 ***Boundary Conditions*** 面板中选择该区域。

1. 为 **velocity-inlet-2** 区域设置下列条件（低速进口边界）。

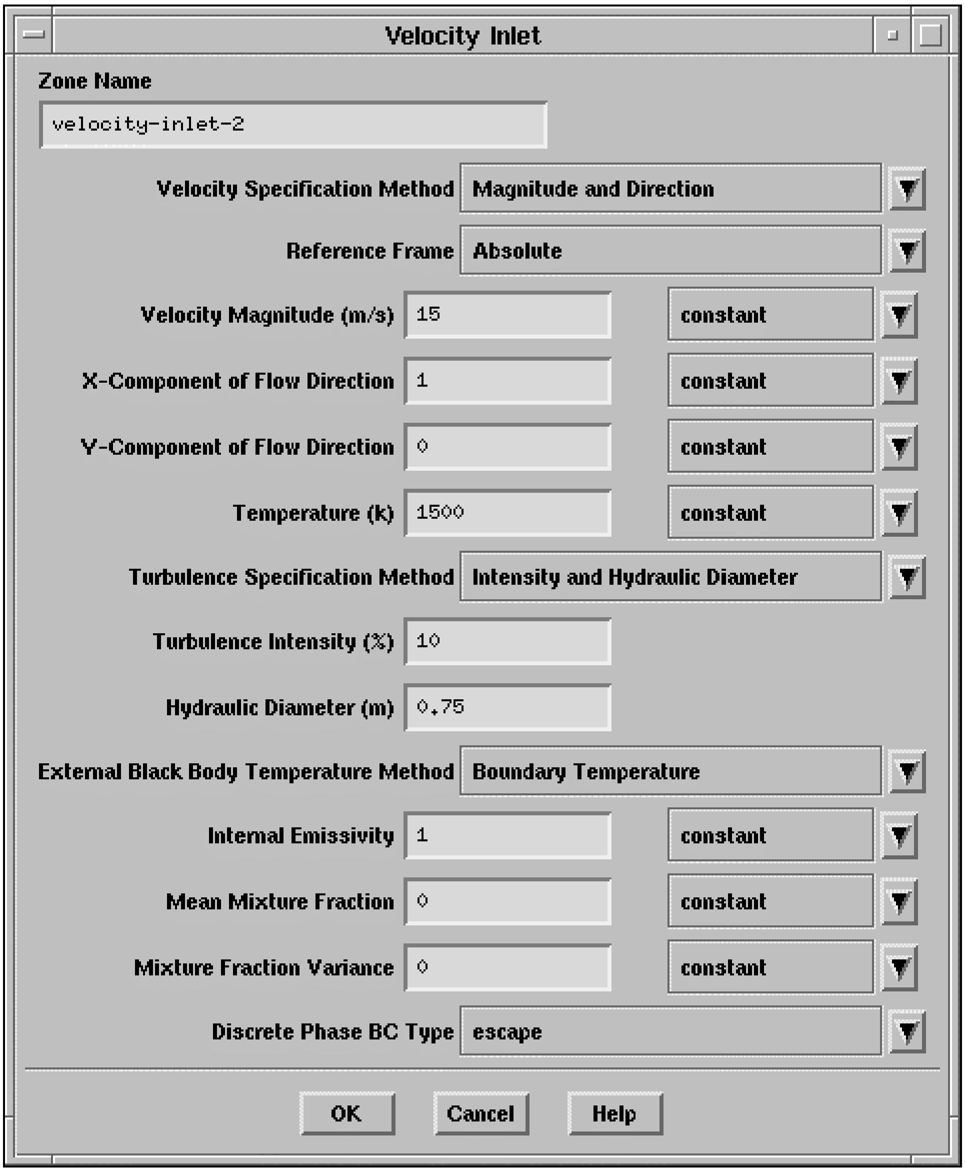
www.myCFD.cn

注意：在这儿将根据其强度和水力直径来定义湍流参数。对于助燃空气流来说 10%的湍流强度是很具有象征性的。水力直径的值设定为 2D 进口流高度的两倍。

在非预混燃烧计算中，需要定义进口的 ***Mean Mixture Fraction*** 和 ***Mixture Fraction Variance***。

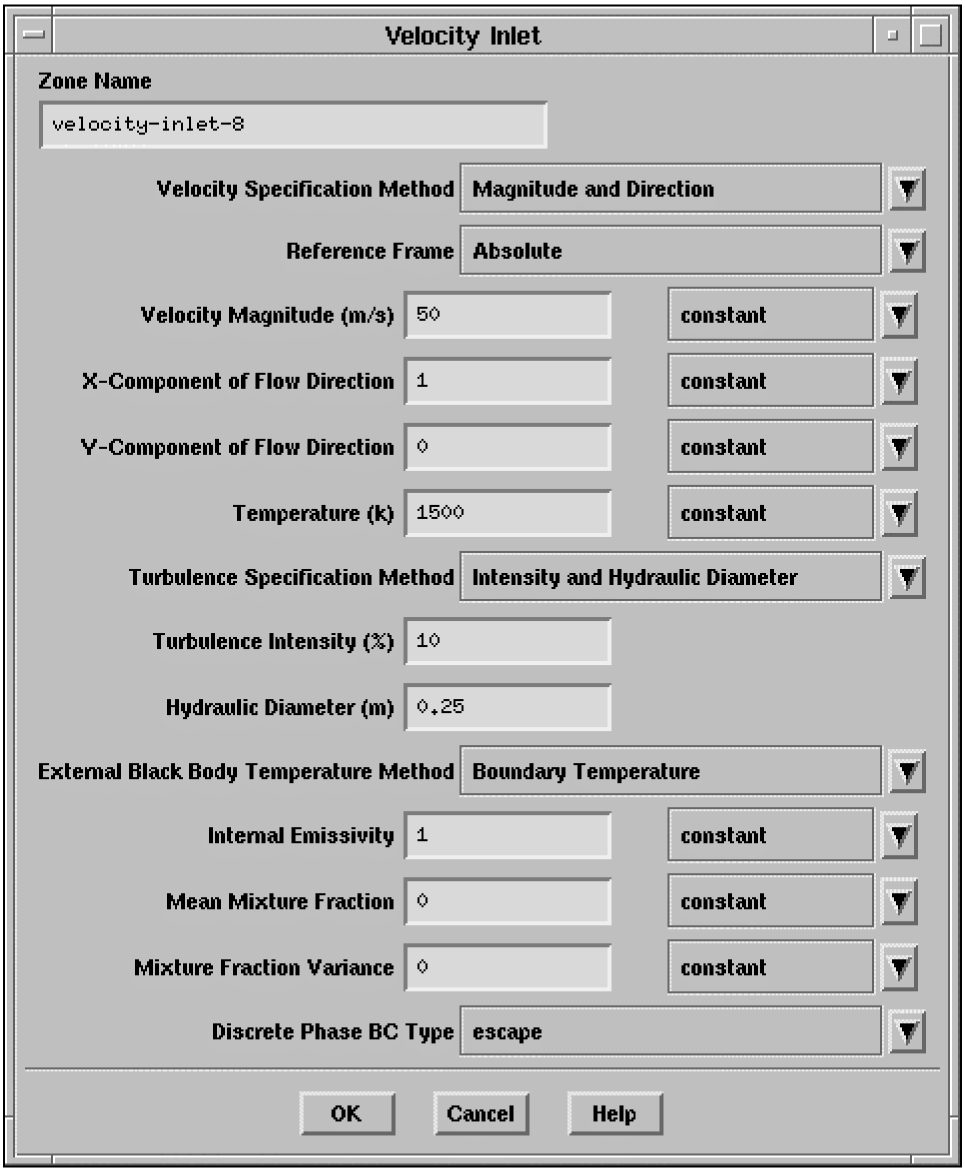
在煤燃烧中，所有的燃料都是离散相的，所以进口处的混合分数的值为 0。所以，保持默认的 0 值不变。

www.myCFD.cn



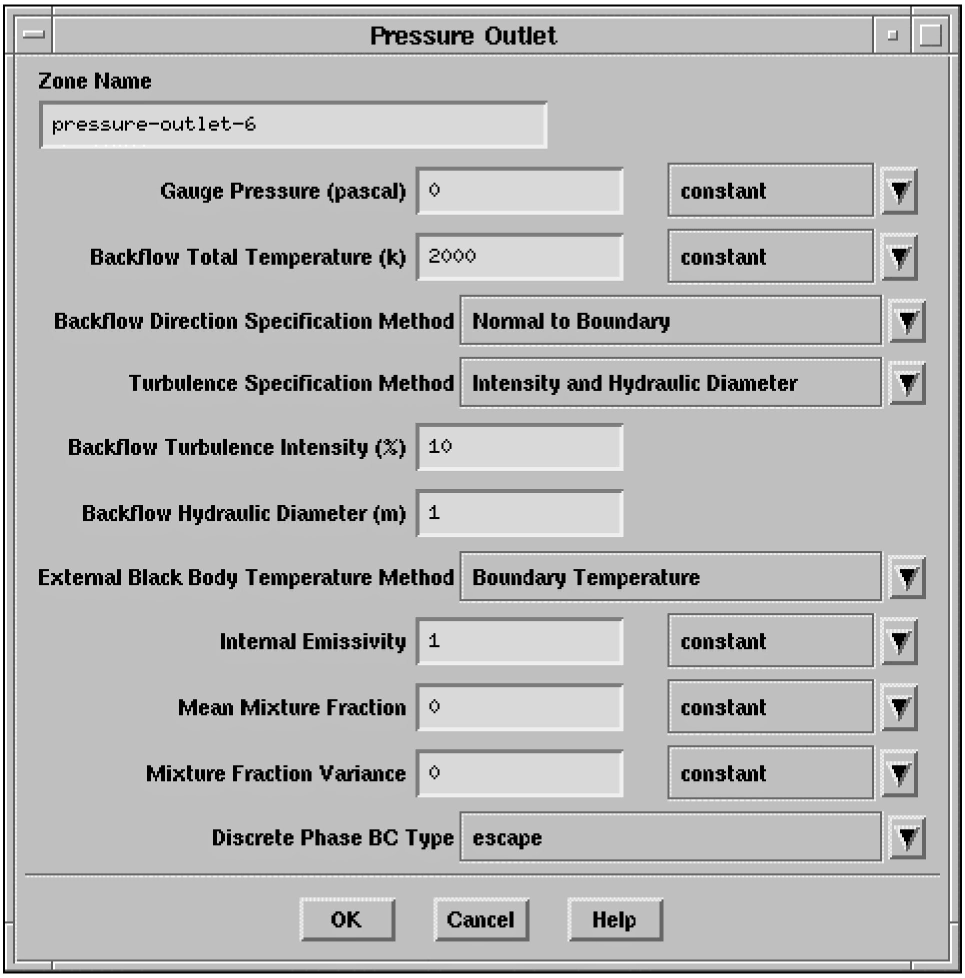
2 .为 **velocity-inlet-8** 区域设定下列条件（高速进口边界）。

www.myCFD.cn



3．为 **ressure-outlet-6** 区域设定下列条件。

www.myCFD.cn

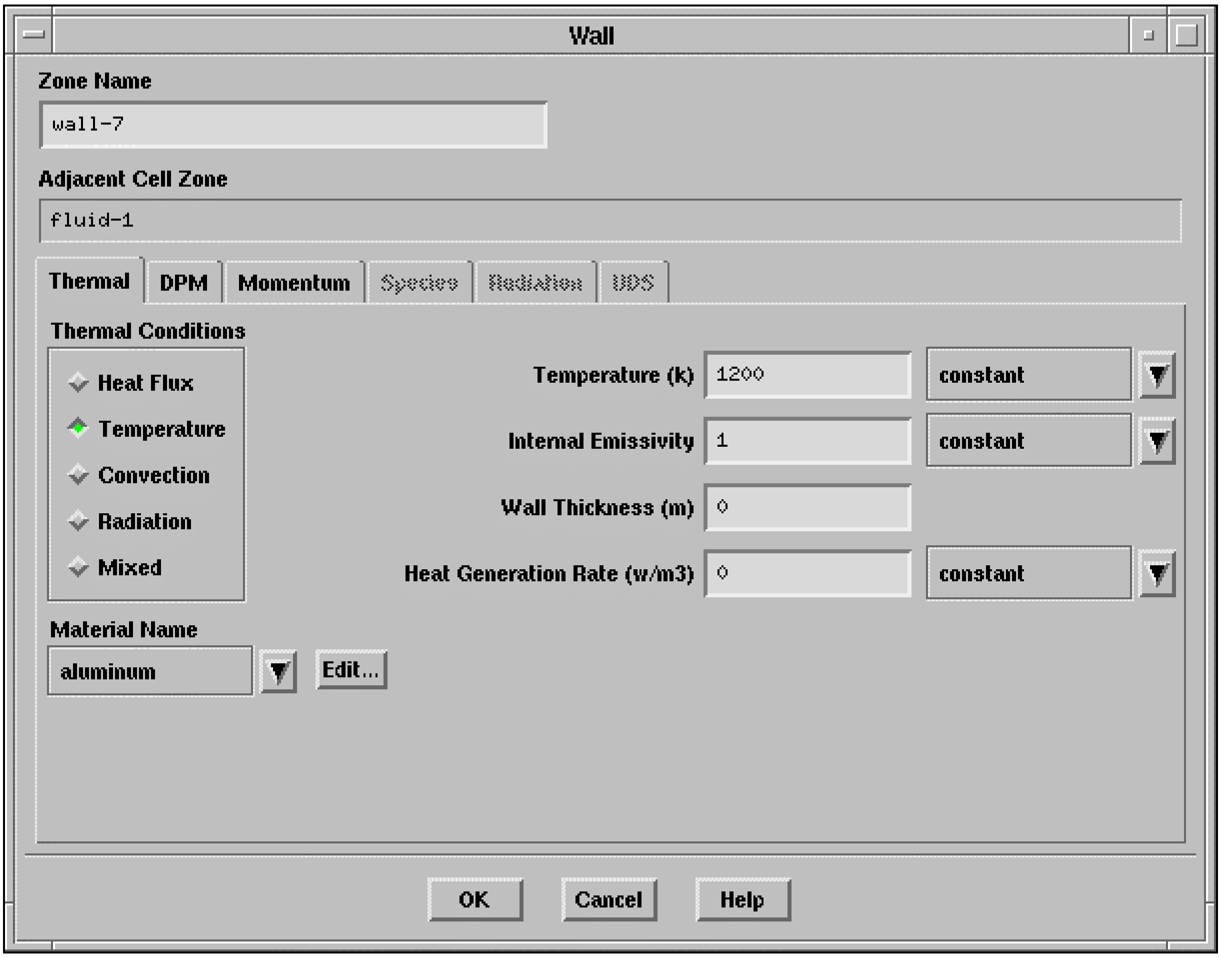


值为 0 的出口表压简单地定义出口处的系统压力为工作压力。只有当流动通过出口流进区域的时候，标量（温度，混合分数，湍流参数）的回流条件才能使用。最好是使用合理值以防在求解过程中出口处在一些点处发生回流。

4 .为 wall-7 区域设定条件（炉壁）。

我们可以将炉壁当成是等温边界，温度为 1200K。

www.myCFD.cn



(a) 在 **Thermal Conditions** 下选择 **Temperature**。

(b) 在 **Temperature** 框中输入 1200。

注意：与炉壁发生碰撞的颗粒的默认边界条件是在 ***DPM*** 下的 ***reflect***。对于与炉壁发生碰撞的颗粒，还可以用 ***BC Type*** 列表选择交替处理。

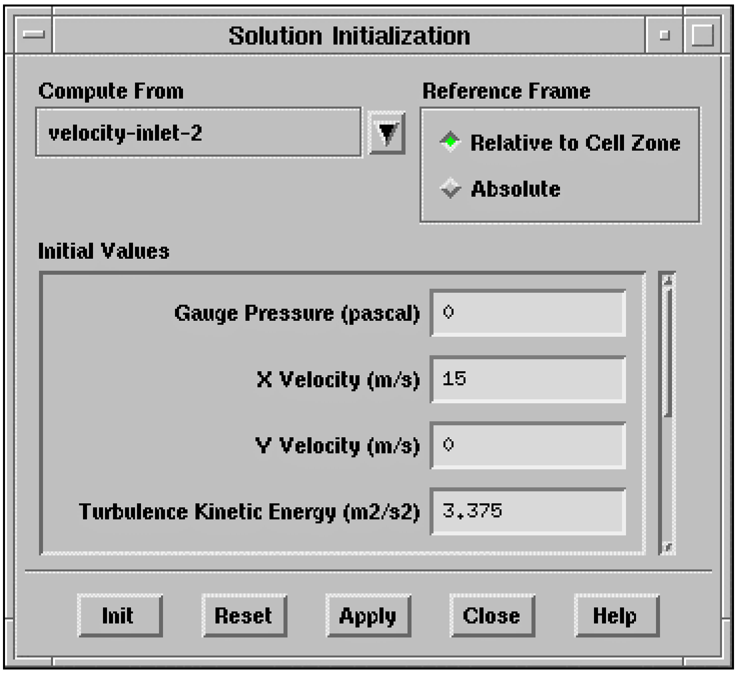
第十步：求解。

1.设定 PI 低松弛因子为 1 。

Solve →Controls →Solution...

2.用 **velocity-inlet-2** 的条件初始化流场。

Solve →Initialize →Initialize...



(a) 在 **Compute From** 列表中选择 **velocity-inlet-2**。
(b) 点击 Init 按钮初始化流场，并关闭面板。

!

The **Apply** button does not initialize the flow field data. You must use the **Init** button. (**Apply** simply allows you to store your initialization parameters for later use.)

注意：在这里，由于氧化剂流的预热温度很高，你可以从基于进口的初始化处开始燃烧计算。一般地，要开始煤燃烧计算，你还需要修补高温区域以及进行离散相的轨迹计算。这将为开始燃烧提供需要的初始挥发份和碳的释放。***Solve/Initialize/Patch...***菜单项和 *solve/dpm-update* 文本命令将会用来完成这个初始化的操作。

3.激活在求解过程中剩余的显示。

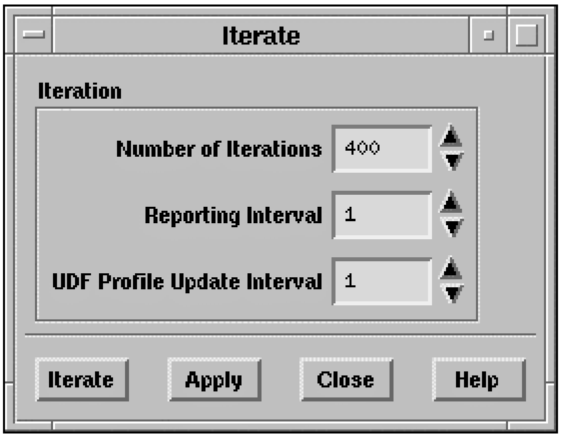
Solve →Monitors →Residual...

4.保存文件(coal.cas)。

File →Write →Case...

5.设置 400 次迭代，并开始计算。

Solve →Iterate...



注意：在默认的收敛标准下，大约在 170 次左右就会达到。

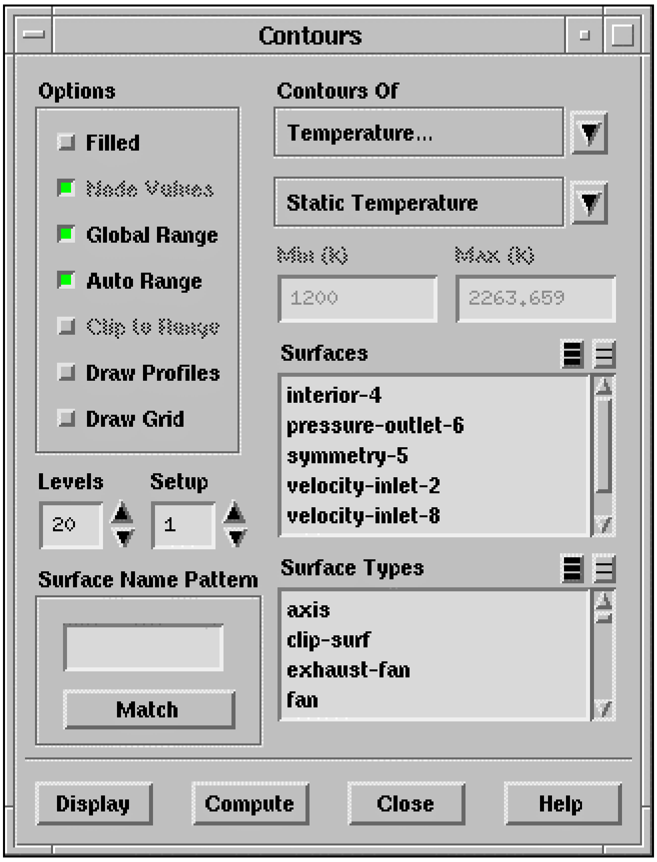
6.保存收敛的流动数据(coal.dat)。

File →Write →Data...

第十一步：后处理。

1 . 显示预示的温度场。

Display →Contours...



系统的峰值温度大约为 2260K。

提示：可以用 ***Views*** 面板（***Display/Views...***)来使对称面的显示成镜面对称。

www.myCFD.cn

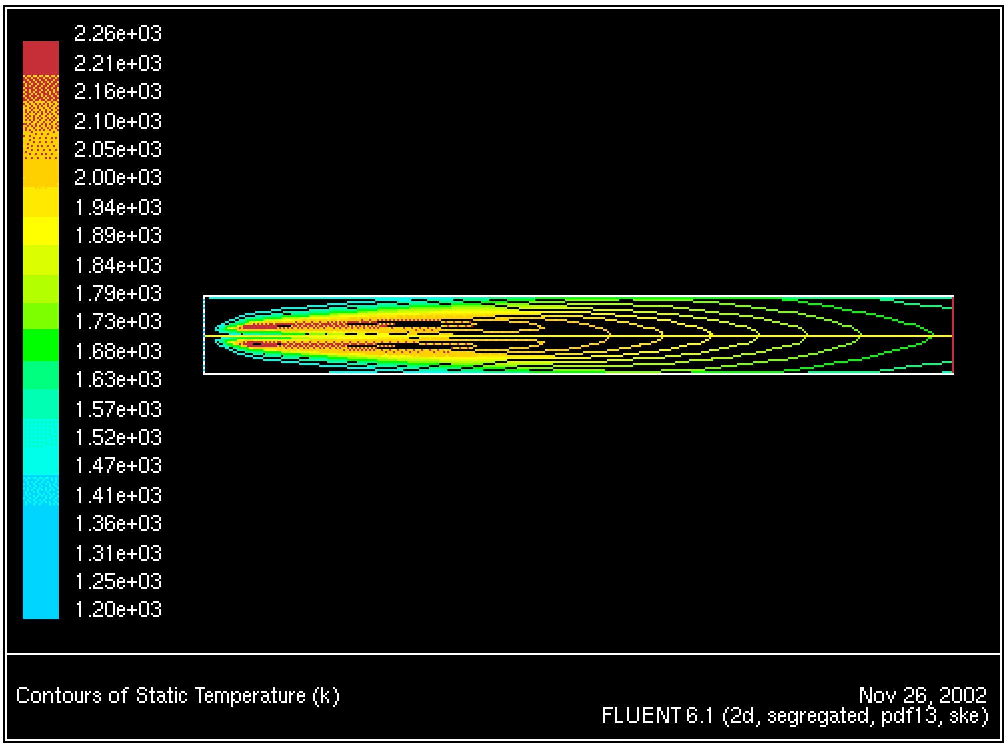
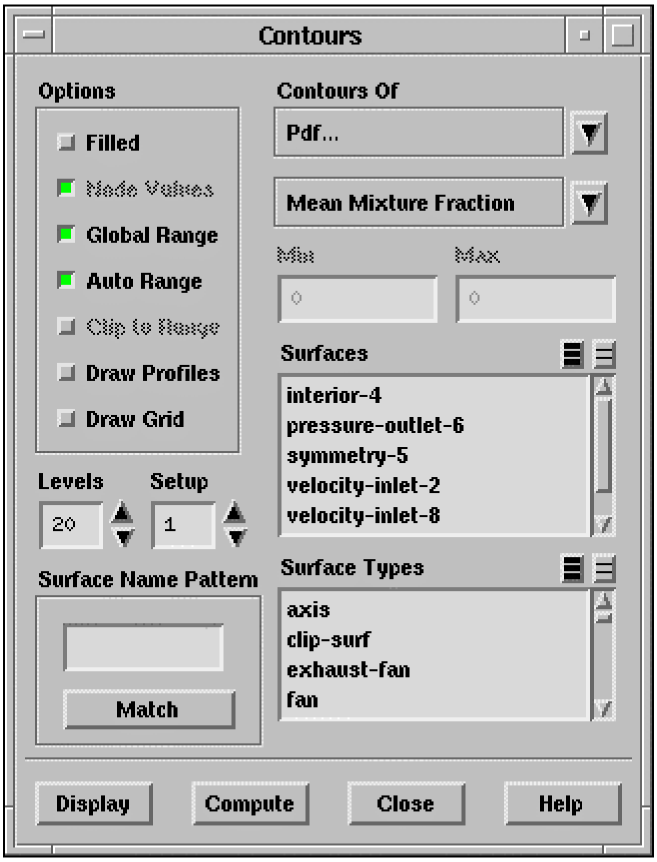


图 13.8：等温图

2．显示 **Mean Mixture Fraction** 分布。（图 13.9）。

Display →Contours...

www.myCFD.cn



混合分数分布的显示表明了从煤中释放的碳以及挥发分存在于气相中的什么地方。

www.myCFD.cn

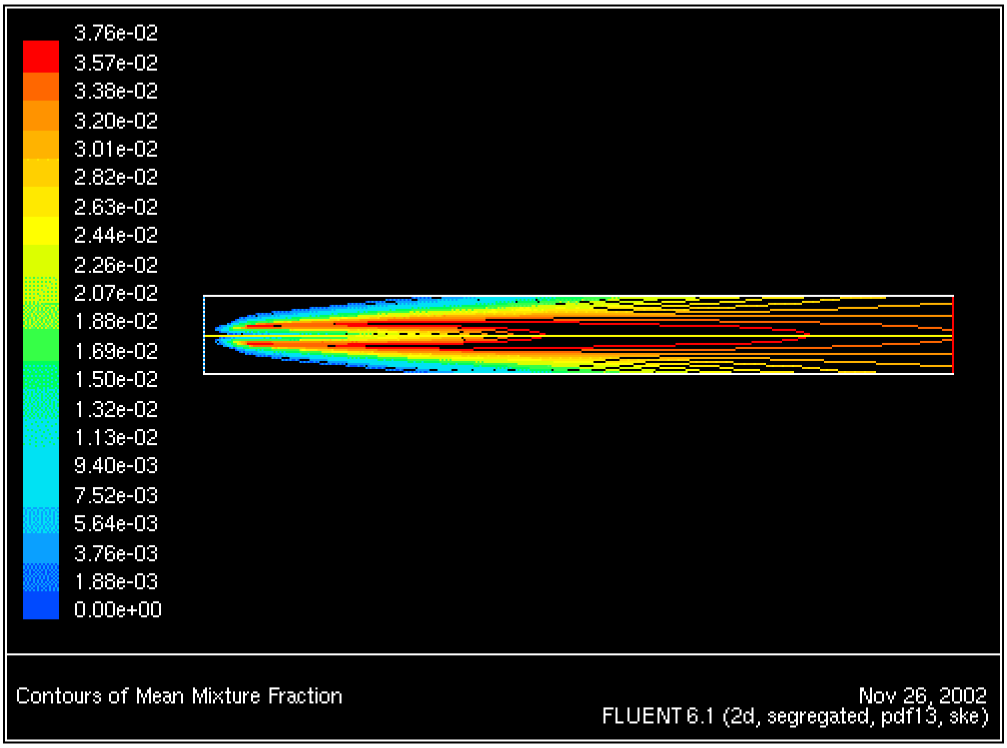
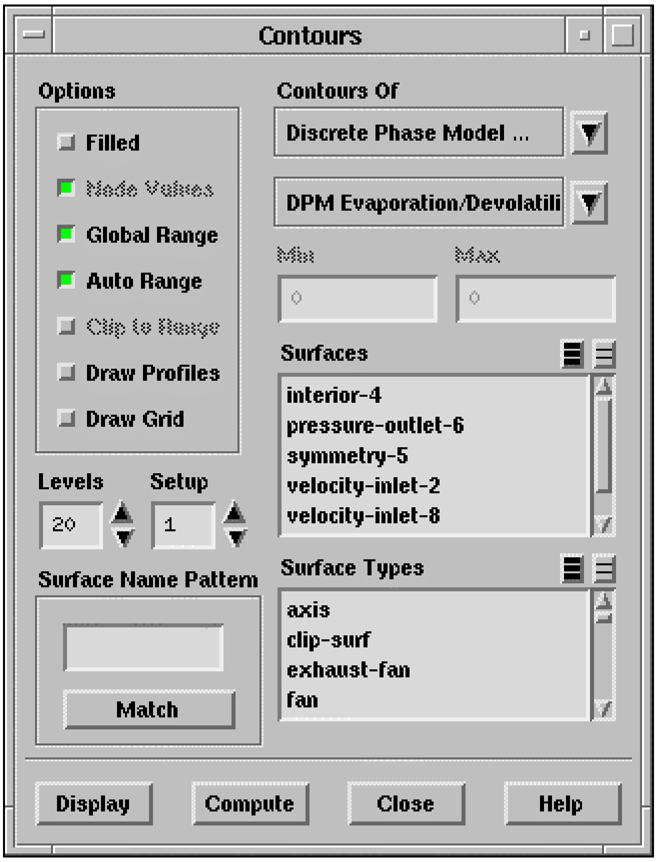


图 13.9：混合分数分布图

3．显示液化率。（图 13.10）。

Display →Contours...

www.myCFD.cn



(a) 在 **Contours Of** 下的向下列表中选择 **Discrete Phase Model...** 和 **DPM Evaporation/Devolatilization**。

www.myCFD.cn

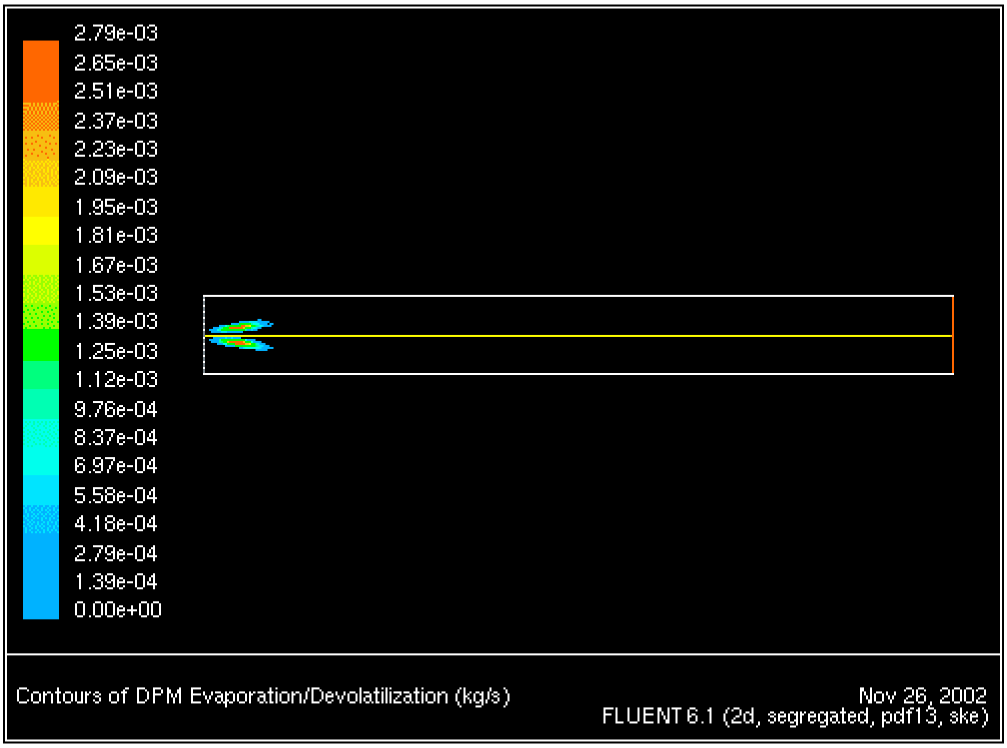


图 13.10：液化率

4 . 在较低的向下列表中选择 **DPM Burnout** 以显示碳的燃烬率。

注意：液化率的显示表明了在煤粒穿过炉膛 1/8 长度之后挥发分就会释放出来。（当煤的温度达到给定值 400K 时液化作用就会开始。）碳的燃烬发生在液化作用完成之后。图 13.11 表明了碳的燃烬在炉膛的 3/4 长度时就会完成。

www.myCFD.cn

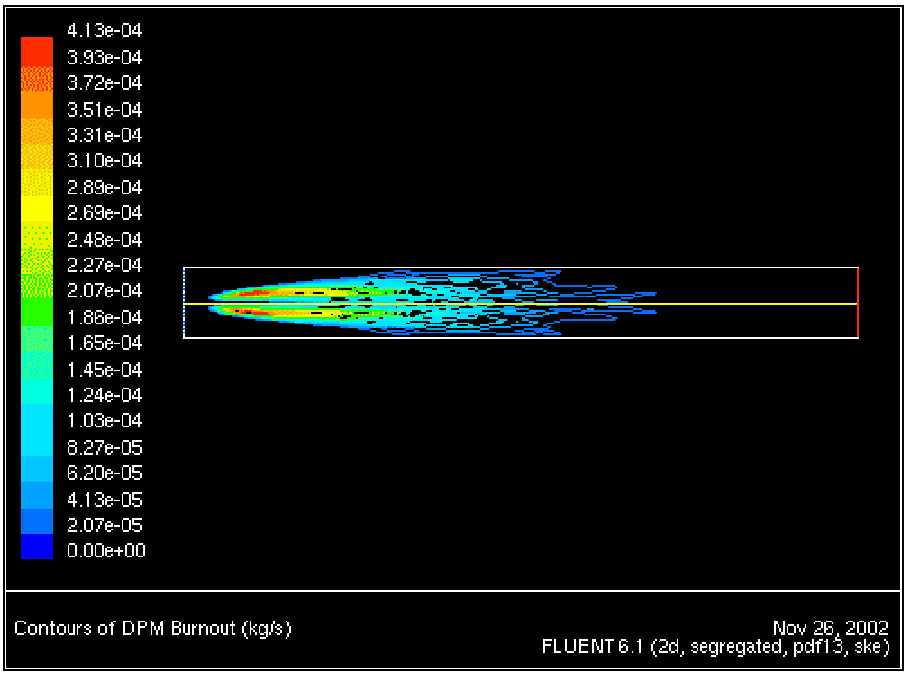
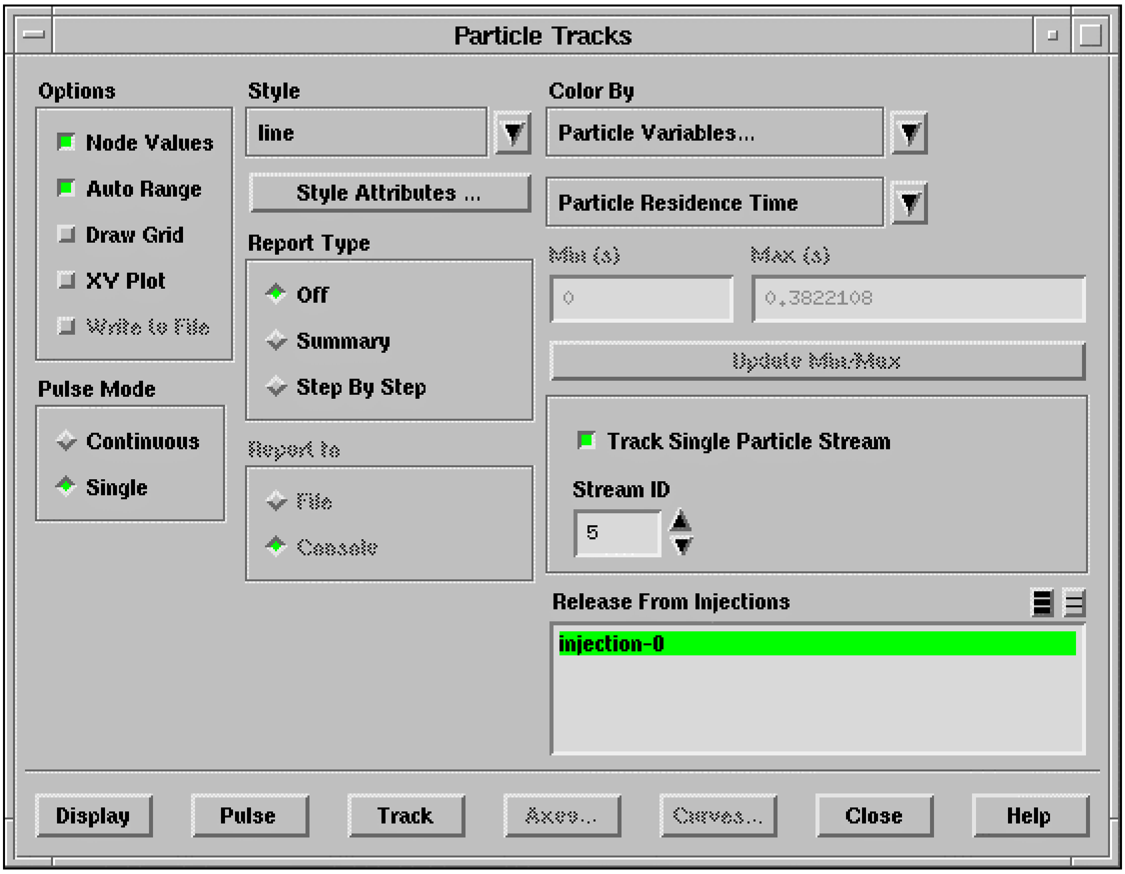


图 13.11：焦炭燃尽率

5．显示一组颗粒流的颗粒轨迹（图 13.12）。

Display → Particle Tracks...

www.myCFD.cn



(a) 在 **Release From Injections** 列表中选择 **injection-0**。

(b) 在 **Color By** 向下列表中选择 **Particle Residence Time**。

(c) 打开 **Track Single Particle Stream**，设定 **Stream ID** 的值为 5 。

(d) 点击 apply。

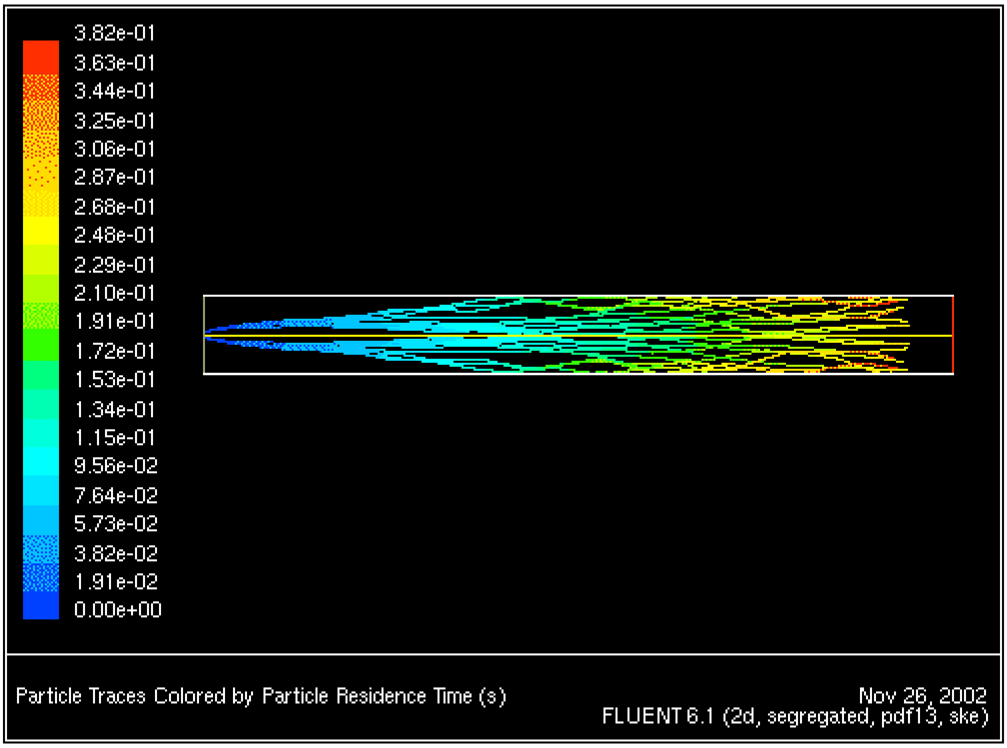
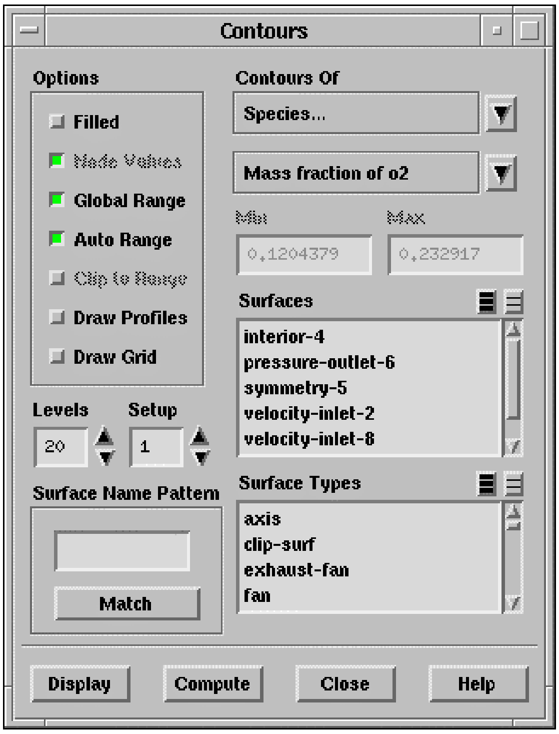


图 13.12：根据颗粒停留时间着色的颗粒轨迹

6. 显示氧化剂的分布（图 13.13）。

Display →Contours...

www.myCFD.cn



注意：虽然动量方程只在混合分数以及它的变化部分求解，但是你仍然可以显示预示的化学物质的浓度。这些是用 PDF 的平衡化学模型预示的。

www.myCFD.cn

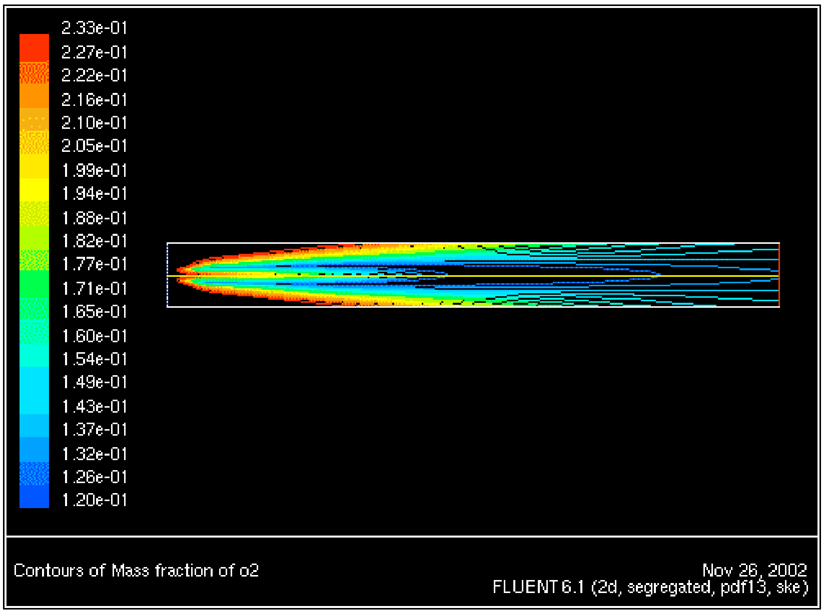


图 13.13：氧气的分布

7 . 选择其他的物质并显示其质量部分的分布。（如图 13.14-13.16）。

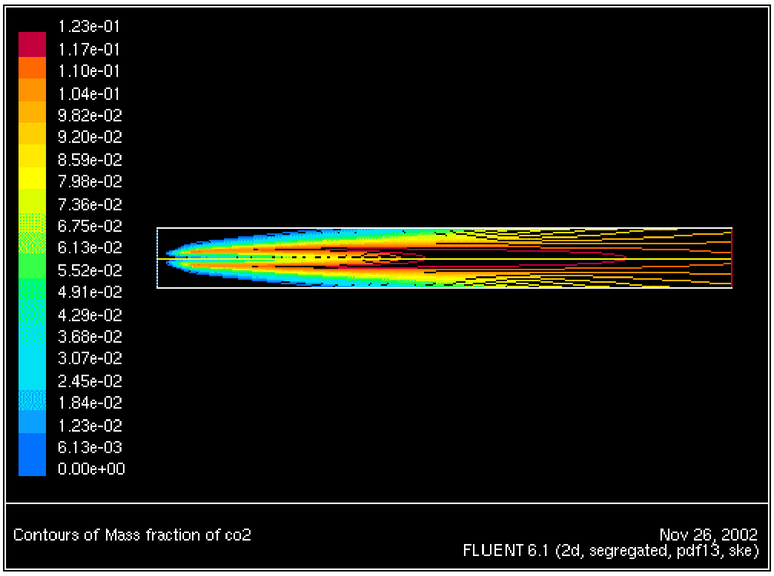


图 13.14：二氧化碳的分布

www.myCFD.cn

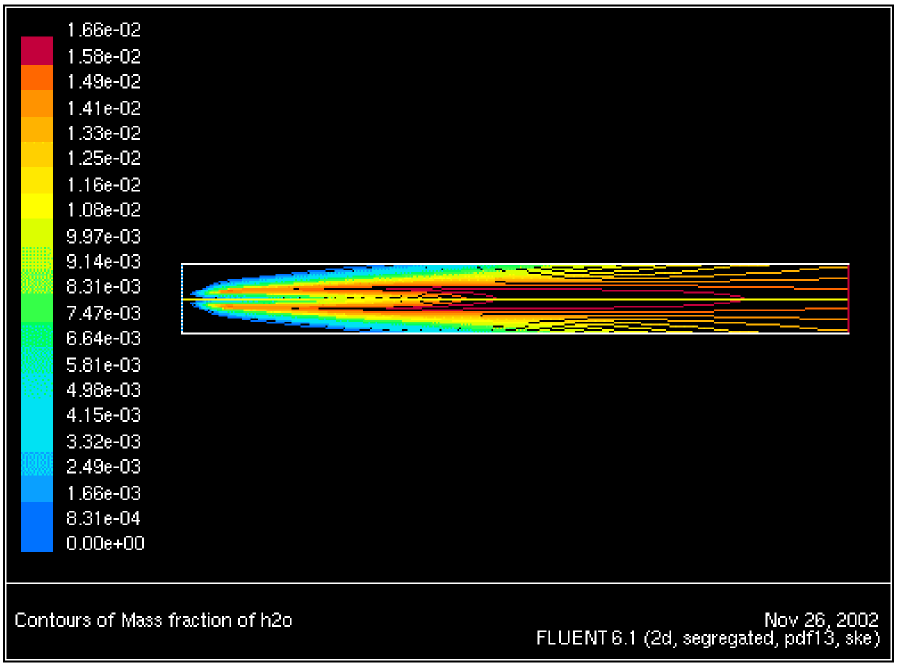


图 13.15：水分的分布

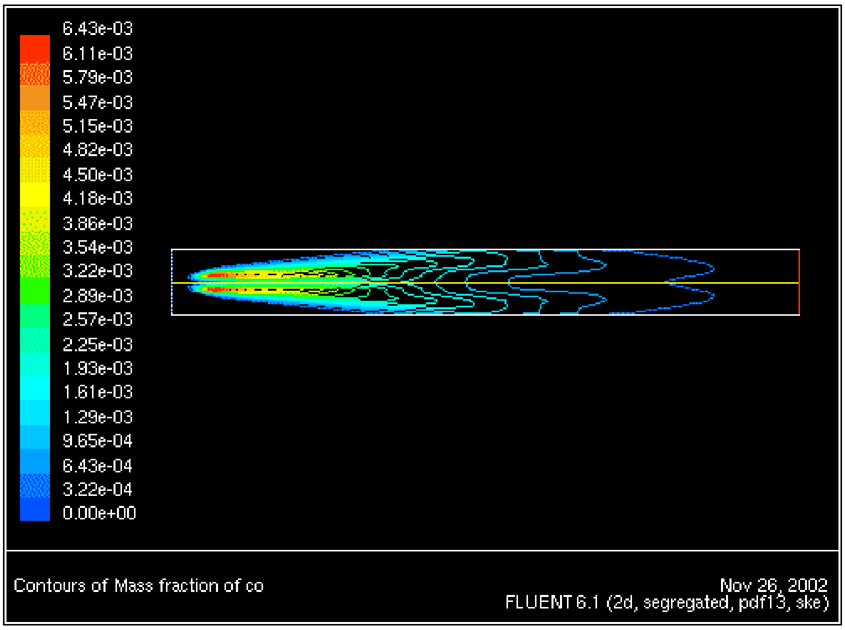


图 13.14：一氧化碳的分布

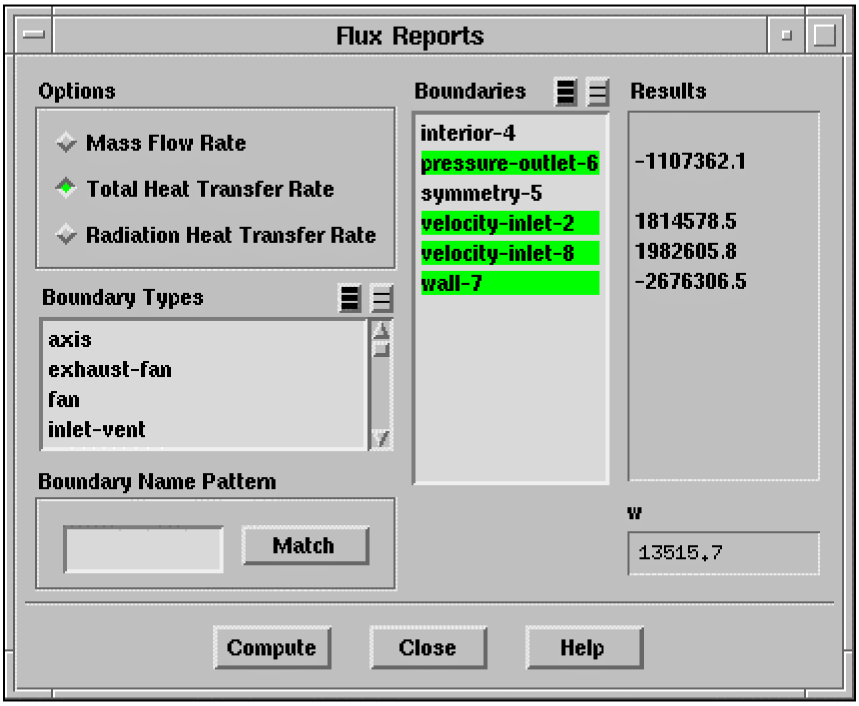
www.myCFD.cn

第十二步：能量守恒和颗粒报告。

FLUENT 能提供包括全部能量计算在内的很多有用的报告和关于来自离散相热量和质量传递的详细信息。在这儿，你可以检查这些报告。

1．计算通过边界区域的热流。

Report →Fluxes...



(a) 在 Options 下面选择 **Total Heat Transfer Rate**。

(b) 在 **Boundaries** 下面选择 **pressure-outlet-6**，**velocity-inlet-2**，**velocity-inlet-8**，and **wall-7** 区域。

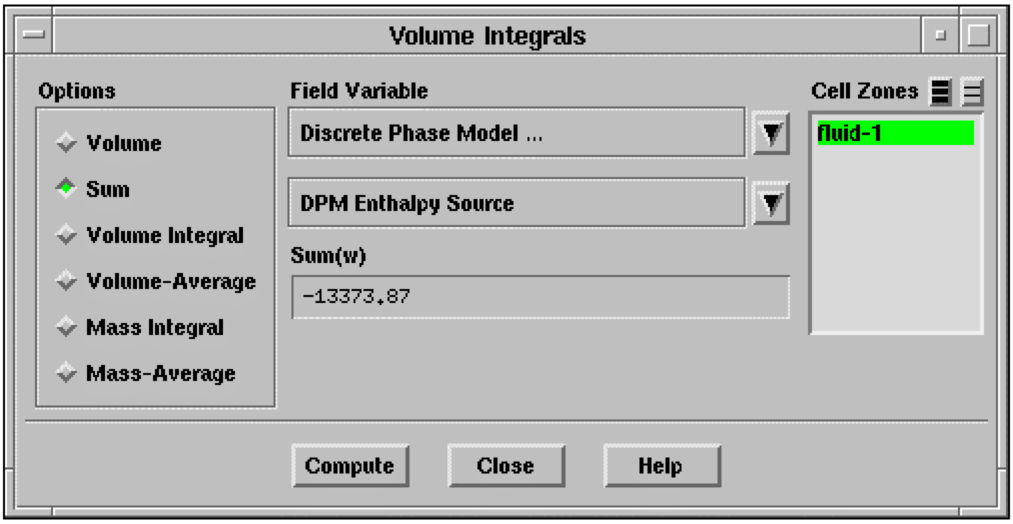
(c) 点击 Compute。

www.myCFD.cn

注意：正值的流量报告说明了有热量进入该区域。负值表示有热量传出区域。在反应流中，热量报告应用总焓（焓加上化学组份形成的热）。在这儿，总焓的净非平衡值（大约 14KW）代表了从离散相加入的所有焓值。

2．气体和离散颗粒相之间传递的热量的体积源的计算。

Report →Volume Integrals...



(a) 在 Options 下面选择 Sum。

(b) 在 **Field Variable** 下的向下列表中选择 **Discrete Phase Model...** 和 **DPM Enthalpy Source**。

(c) 在 **Cell Zones** 下选择 **fluid-1**。

(d) 点击 **Compute**。

从气体传到离散相的总焓值大约为-13.4KW，正如以上边界流动报告所反应的一样。这反应了在液化和碳燃烧过程中从离散相传到气体相的加入的总焓。

3．获得颗粒轨迹方面的概述。

离散相模型概述提供了在颗粒停留时间，连续相和离散相之间的热量和质量传递，碳的转化和挥发分挥发等方面的详细信息。

www.myCFD.cn

Display →Particle Tracks...

(a) 在 **Report Type** 下选择 **Summary**。

(b) 选择 **injection-0**。

(c) 点击 **Track**。

FLUENT 会在控制窗口中报告该概述。(你也可以在 ***Report to*** 下选择 ***File*** 来把该报告写到一个文件里面)。

(d) 控制窗口中的概述。

DPM Iteration ....

num tracked = 100， escaped = 0， aborted = 0， trapped = 0， evaporated = 0， incomp

Fate Number Elapsed Time (s)
Inj

Min Max Avg
Std Dev

---- ------ ---------- ---------- ---------- ---------- -------

Escaped - Zone 6 100 2.574e-01 5.153e-01 3.317e-01
5.311e-02 inj

(*)- Mass Transfer Summary -(*)

Fate Mass Flow (kg/s)
Initial Final Change

---- ---------- ---------- ----------

Escaped - Zone 6 1.000e-01 7.999e-03 -9.200e-02

(*)- Energy Transfer Summary -(*)

www.myCFD.cn

Fate	Heat Content (W)		
	Initial	Final	Change
----	----------	----------	----------
Escaped - Zone 6	-3.712e+03	9.849e+03	1.356e+04

(*)- Combusting Particles -(*)

Fate	Volatile Content (kg/s)			Char Content (kg/s)		
	Initial	Final	%Conv	Initial	Final	%Conv
----	----------	----------	-------	----------	----------	-------
Escaped - Zone 6	2.800e-02	0.000e+00	100.00	6.400e-02	0.000e+00	100.00

该报告表明煤粒的平均停留时间大约为 0.33 秒。这时，区域内的挥发份已经完全挥发，碳的转化率为 100%。

特别地：

你还可以得到沿单个颗粒轨迹方向颗粒位置，速度，直径，温度等值的详细报告。当你想试图弄懂离散模拟行为中一些特殊或者重要的细节的时候，这种类型的细节追踪报告将会很有用。可以通过访问 ***Particle Tracks*** 面板来生成报告。在 ***Report Type*** 下选择 ***Step By Step***，在 ***Report to*** 选择 ***File***。激活 ***Track Single Particle Stream*** 面板，设置 ***Stream ID*** 为你想要的的颗粒流。点击 ***Track*** 后，会弹出 ***Select File*** 对话框，在该框中输入要写入的文件名。文件可以用文字编辑器查看。

www.myCFD.cn

概要

煤粉的燃烧模拟包括对发生在气相的燃烧化学物质挥发情况和模拟过程中碳的燃尽的预测。在本指南中，你学习了怎样用非预混燃烧模型来描述气相的燃烧化学物质。在本方法中，用 prePDF 来定义燃料的成分，并且假想反应是按照系统平衡数据来进行的。在其他的湍流，扩散反应系统中也可以采用该平衡化学模型，请注意你也可以用有限速率化学模型来模拟煤的燃烧。

www.myCFD.cn

算例 15　蒸发性液体喷雾建模

引言

在此向导中，将使用 Fluent 软件提供的气体辅助雾化模型对甲醇的雾化和蒸发进行进行数值模拟。在整个计算过程中，按定常流动计算空气的流动状况，然后再使用某些离散相模型（包括碰撞和破碎模型），按非定常流动计算单个液滴在雾化器中的状况。

通过此向导，用户将学会以下内容：

- 创建周期性区域
- 定义一个符合空气辅助雾化模型的离散相喷射源
- 使用二阶隐式非定常流动求解器进行瞬态流动计算

前提条件

在学习此向导之前，假设用户已经熟悉 Fluent 面板中菜单的结构和内容，并且已经完成向导 1 的学习。因此，某些设置和计算的具体步骤将不在向导中详细说明。

问题描述

此向导描述的问题的几何图形如图 15.1 所示。在进入气体辅助雾化器前，介质甲醇被冷却到—10℃。气体辅助雾化器中心位置的喷口喷出一股空气流，而在中心喷口周围存在着一个环形喷口，喷出一股包围着中心气流的环形的涡流。（这种喷射方式的介质成分包含了空气和水蒸气，同样，如果需要的话，此模型还可以扩展应用到燃烧过程。）充分利用图形的周期性，只需从喷雾器截取中心角为 30° 的扇形部分，对其进行计算，即可完成对整个喷雾器的数值模拟。

www.myCFD.cn

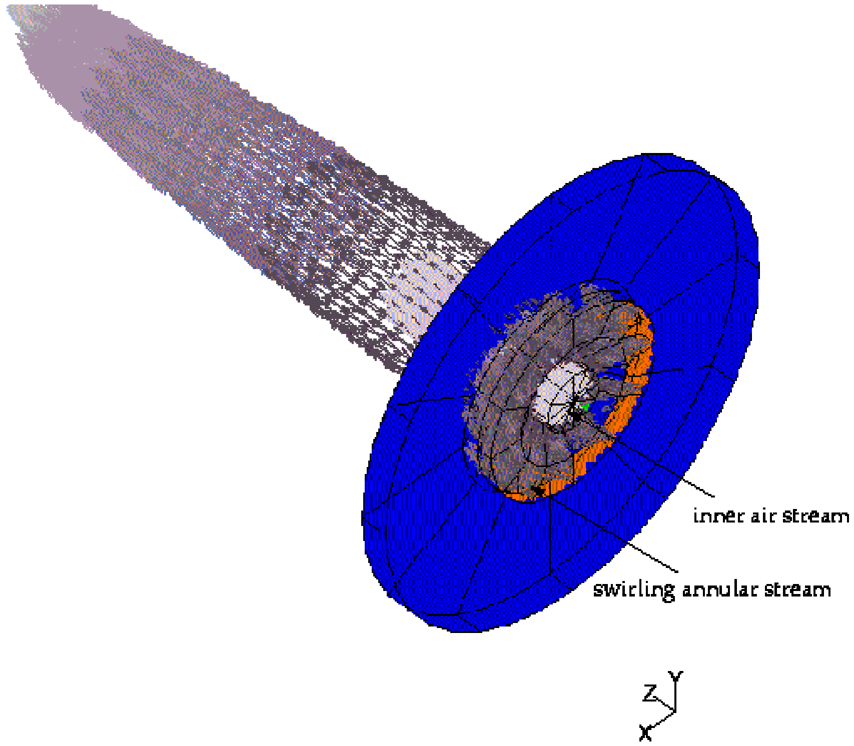


图 15.1 问题详述

准备工作

1. 从 Fluent 的文件光盘中拷贝网格文件 spray/sector.msh 到电脑的 Fluent 工作目录中。(可参考向导 1 中的具体操作。)
2. 启动 Fluent，选择 3D 求解器。

第 1 步：与网格相关的操作

1. 读取网格文件 sector.msh。

File →Read →Case...

2. 检查网格。

Grid →Check

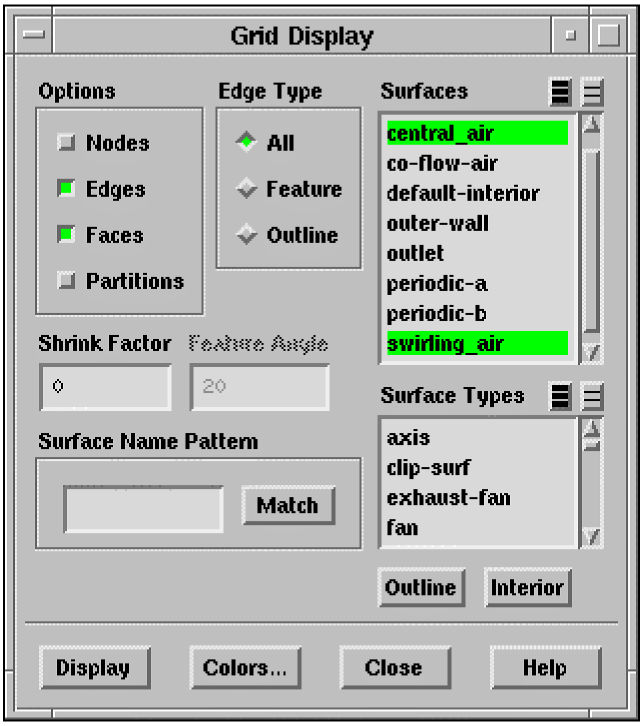
Fluent 会对网格进行各种检查，并且会在信息反馈窗口报告检查的结果。

www.myCFD.cn

要特别注意最小体积，确保其不是负数。

3. 显示网格。

Display →Grid...

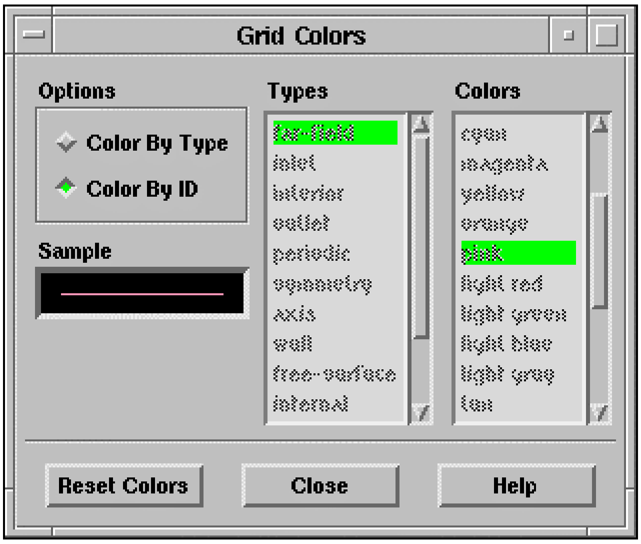


a) 在 **Options** 项中选择 **Faces**。

b) 在 **Surfaces** 项中只选择 **atomizer-wall**，**central_air** 和 **swirling_air**。

c) 点击 **Colors...**。

www.myCFD.cn



d) 在 **Grid Colors** 对话框中，选择 **Color By ID**。

此操作会使 Fluent1 用不同的颜色标记网格中的每一个区，而不是根据默认设置使用不同的颜色标记不同类型的区。

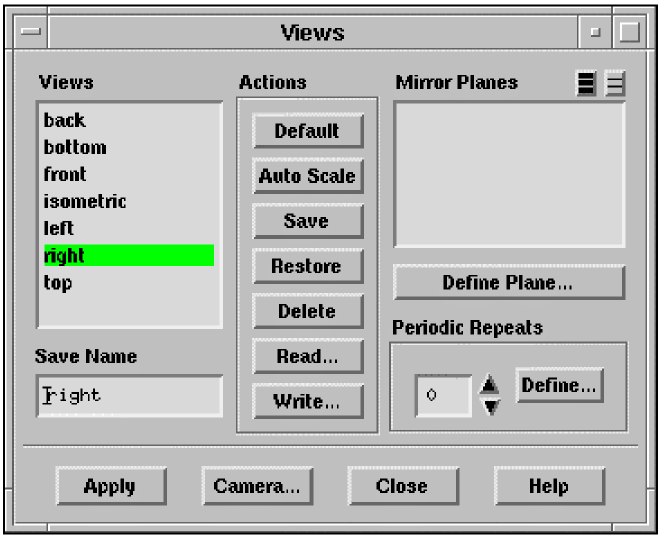
e) 在 **Grid Display** 对话框中，点击 **Display**。

图形显示窗口将会出现，并显示网格。可以通过更改设置，按照与喷雾器等大的比例显示网格。

4. 按等大比例显示网格。

Display →Views...

www.myCFD.cn



a) 在 **Views** 列表中选择 **right**，点击 **Restore**。

b) 用鼠标放大并旋转图像，使其如图 15.2 所示。

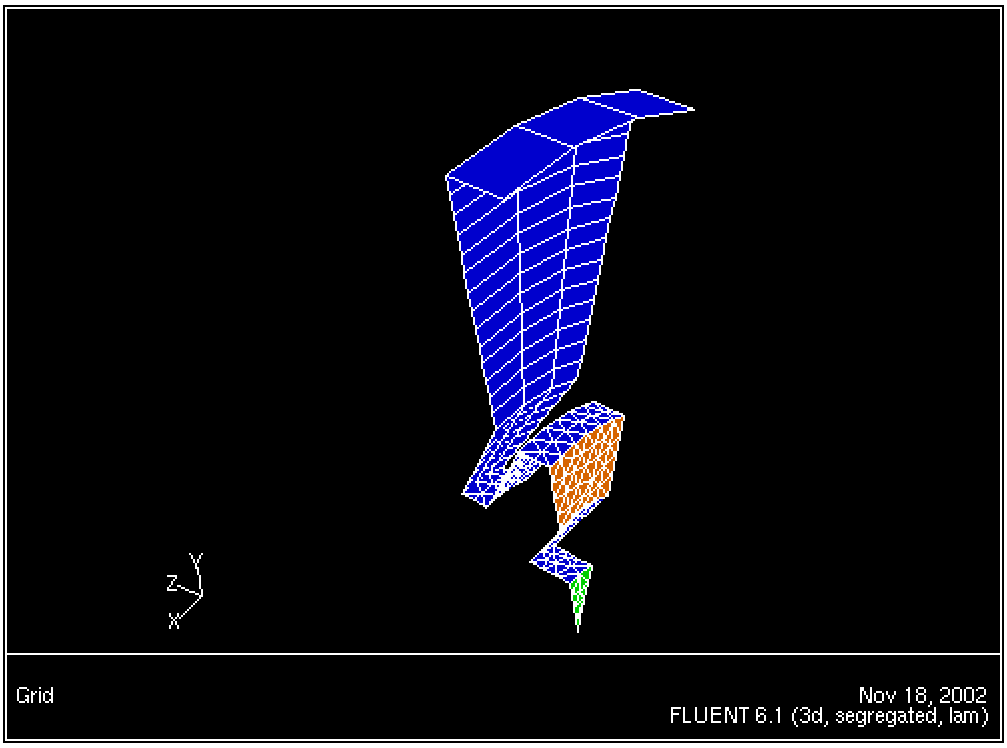


图 15.2 气体辅助雾化器网格显示

www.myCFD.cn

5. 通过文本界面，更改区域 periodic-a 和 periodic-b 的类型，使其从类型 **wall** 转变成类型 **periodic**。

a) 在信息反馈窗口中，按照以下文本内容，输入其中以绿色显示的命令。

```
> grid

/grid> modify-zones

/grid/modify-zones> list-zones

  id  name              type              material
kind
----  ----------------  ----------------  ------------------
----
   1  fluid             fluid             air
cell
   2  atomizer-wall     wall              aluminum
face
   3  central_air       mass-flow-inlet
face
   4  co-flow-air       velocity-inlet
face
   5  outlet            pressure-outlet
face
   6  swirling_air      velocity-inlet
face
   7  periodic-a        wall              aluminum
face
   8  periodic-b        wall              aluminum
face
```

```
   9  outer-wall        wall                aluminum
face
  11  default-interior  interior
face

/grid/modify-zones> make-periodic
Periodic zone [()] 7

Shadow zone [()] 8

Rotational periodic? (if no, translational) [yes] yes

Create periodic zones? [yes] yes

  all 1923 faces matched for zones 7 and 8.

  zone 8 deleted

  created periodic zones.
```

6. 重新整理网格。

为了加速计算过程，需要从新整理网格，充分减少带宽。

Grid →Reorder →Domain

Fluent 将会在信息反馈窗口中显示整理的结果：

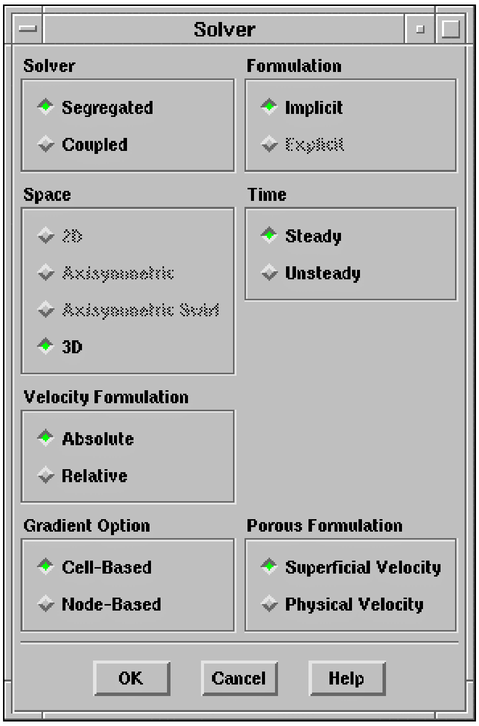
```
>> Reordering domain using Reverse Cuthill-McKee method:
      zones, cells, faces, done.
   Bandwidth reduction = 3286/102 = 32.22
   Done.
```

第 2 步： 建立求解模型

1. 保持求解器的默认设置不变。

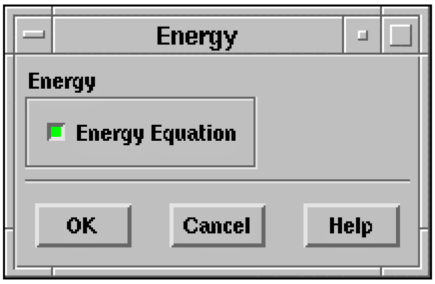
www.myCFD.cn

Define →Models →Solver...



2. 选择能量方程，激活传热机制。

Define →Models →Energy...



3. 设置可实现 k- ϵ 湍流模型。

Define →Models →Viscous...

www.myCFD.cn

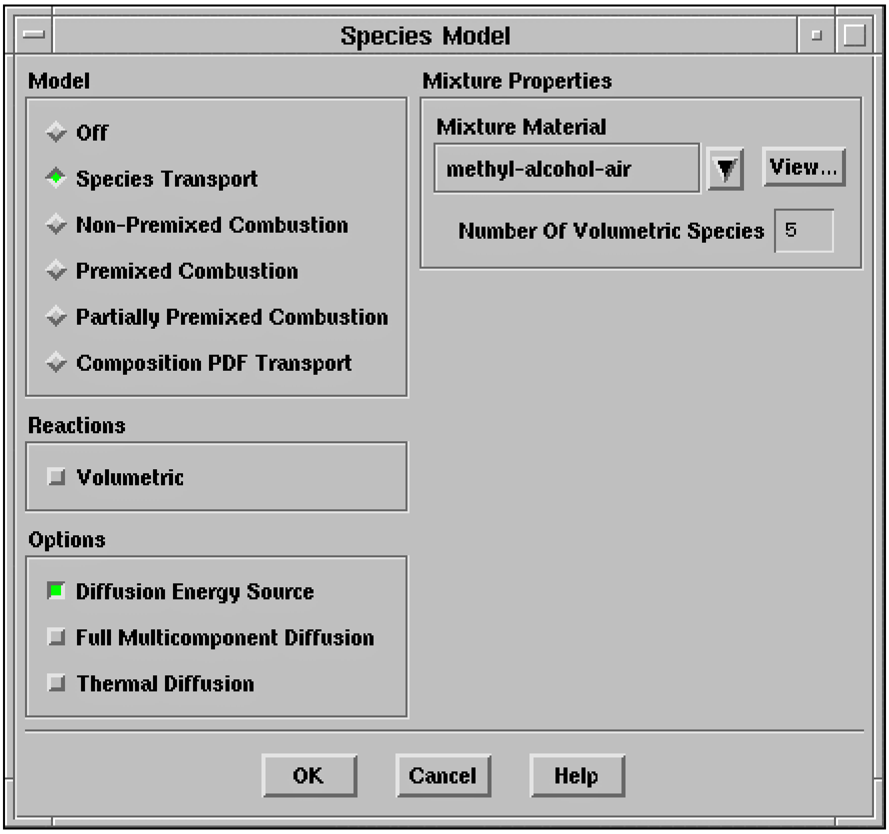


对比标准 k- ϵ湍流模型，可实现 k- ϵ湍流模型可对平面或圆形喷射进行更加精确的计算。

4. 设置化学物种的传输和反应。

Define → Models → Species...

www.myCFD.cn



a) 在 **Model** 项中选择 **Species Transport**。

b) 在 **Mixture Material** 的下拉列表中选择 **methyl-alcohol-air**。

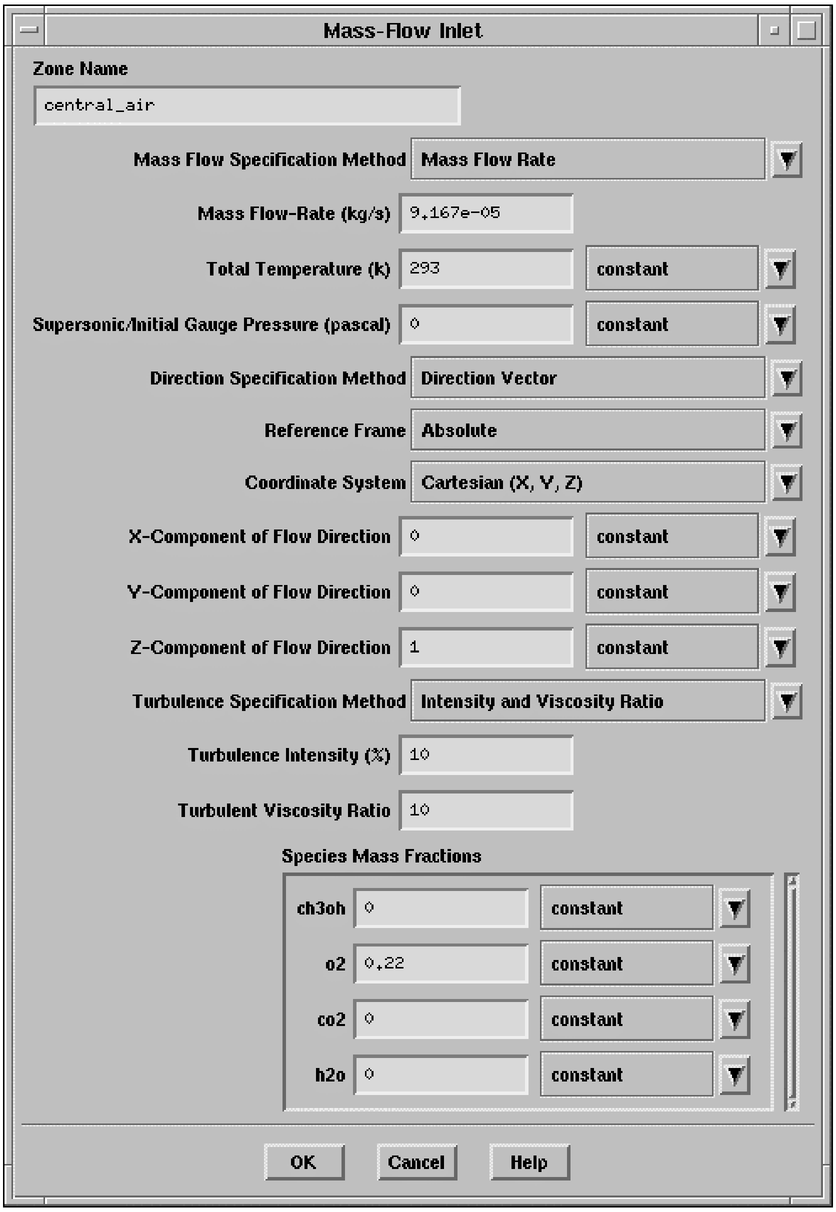
Mixture Material 的列表包含了一批 Fluent 材料库中已经定义了的化学物质的混合物。选择这些混合物中的一种，便可获得关于这种混合物化学反应系统的完整描述，便已经定义了此化学系统中化学物种以及它们的物理和热力学性质。通过 **Materials** 对话框，可以改变对混合物种类的选择，或更改混合物的物质属性。

注意：

点击 **OK** 后，信息反馈窗口会列出所激活的模型所需物质的特性。此时会出现一个 **Information** 对话框，要求确认从材料库中提取的物质的特性参数。

c) 在 **Information** 对话框中点击 **OK**。

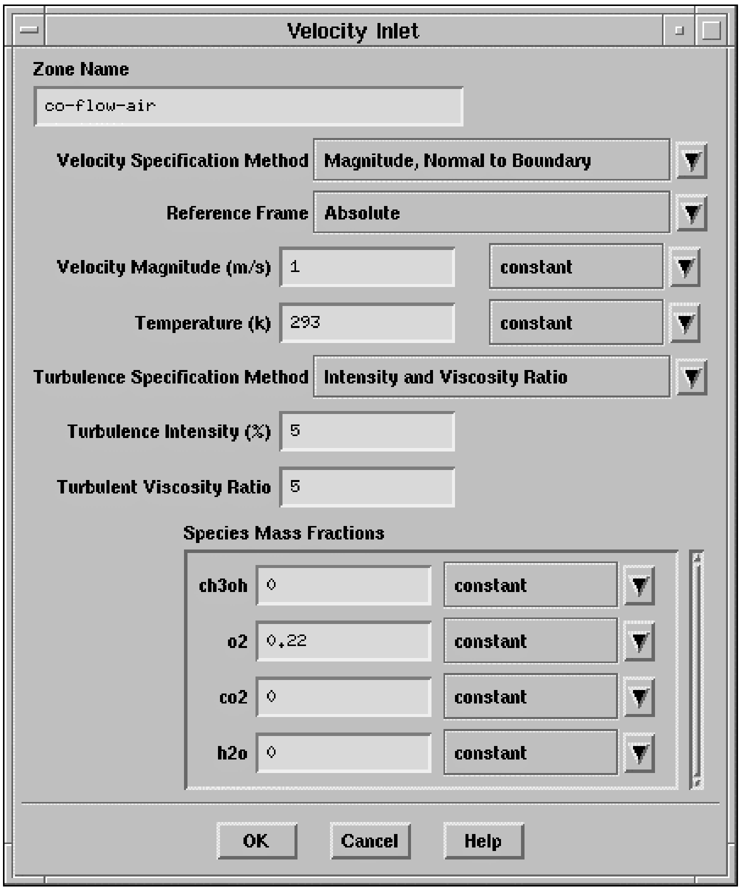
第 3 步：设置边界条件



Define → Boundary Conditions...

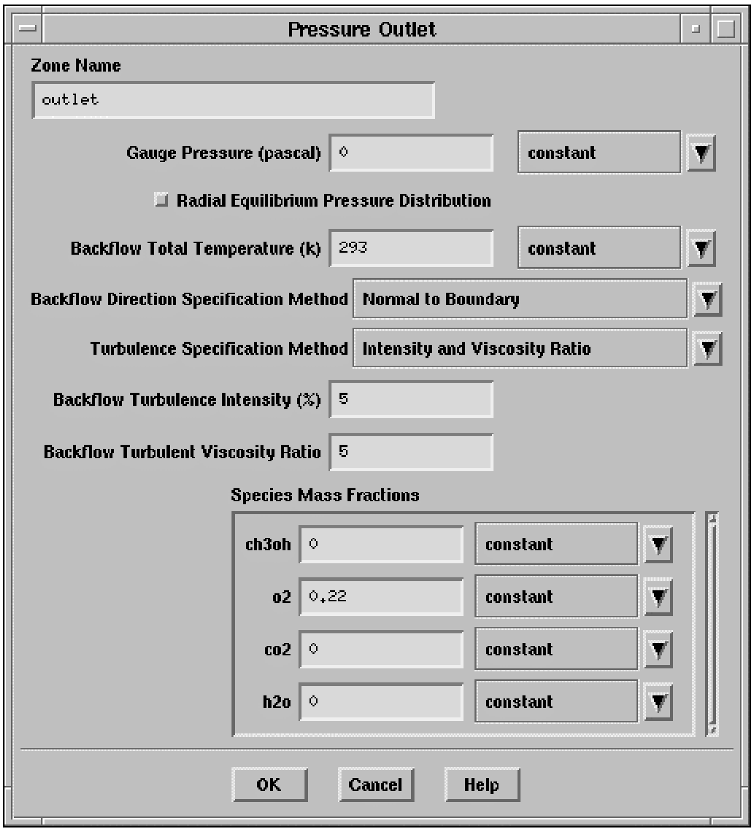
www.myCFD.cn

1. 如上图所示，设置喷雾器中心位置的空气流的入口边界条件（**central_air**）。
2. 如下图所示，设置环绕喷雾器的空气流的入口边界条件(**co-flow-air**)。



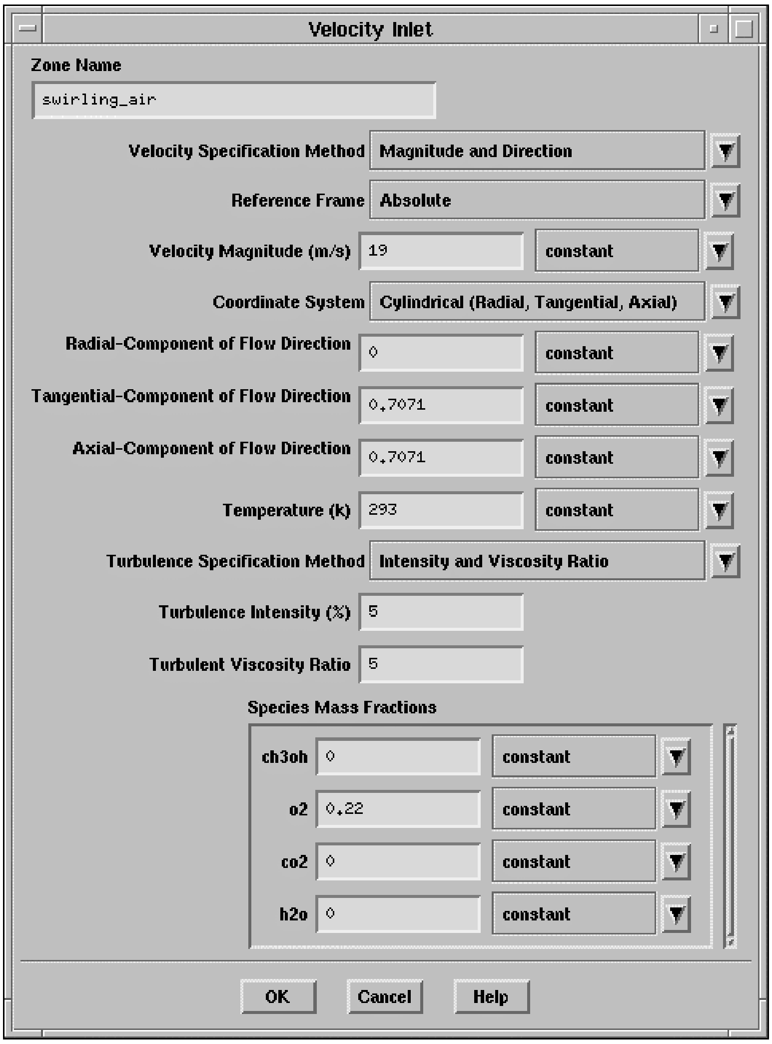
3. 如下图所示，设置出口边界条件(**outlet**)。

www.myCFD.cn



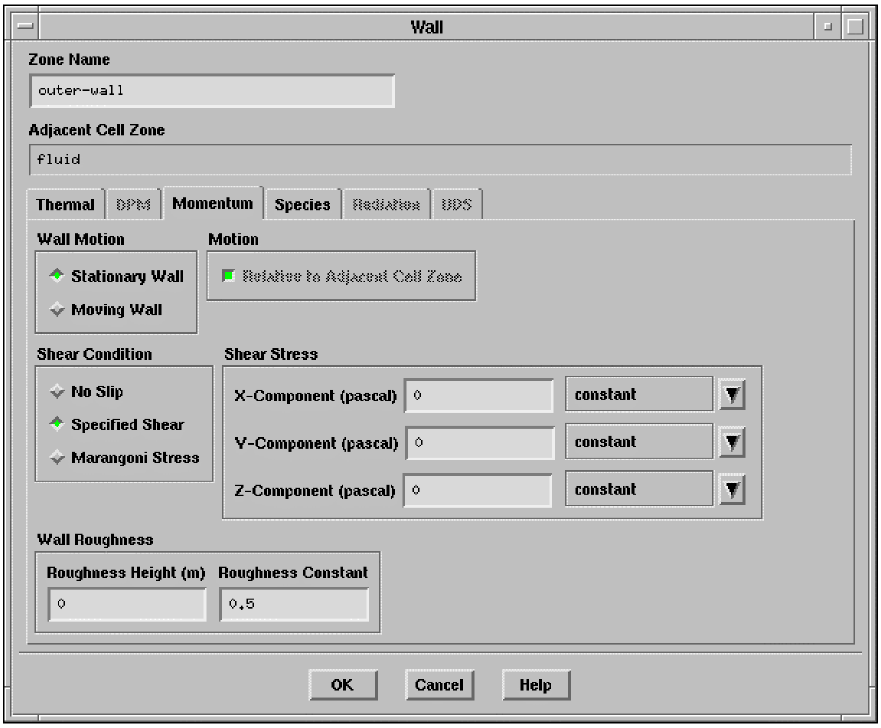
4. 如下图所示，设置环绕涡流(**swirling_air**)的入口边界条件。

www.myCFD.cn



5. 如下图所示，设置喷雾器的外表面的边界条件(**outer-wall**)。

www.myCFD.cn



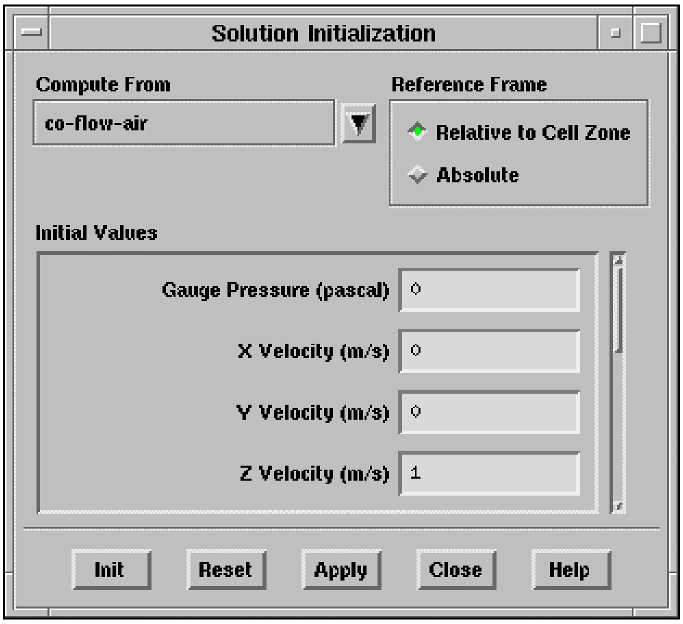
第 4 步：　忽略液滴存在的初始求解

在此步骤中，将会忽略液滴的存在，以此为基础计算和分析空气流动状况。

1. 初始化流场。

Solve →Initialize →Initialize...

www.myCFD.cn

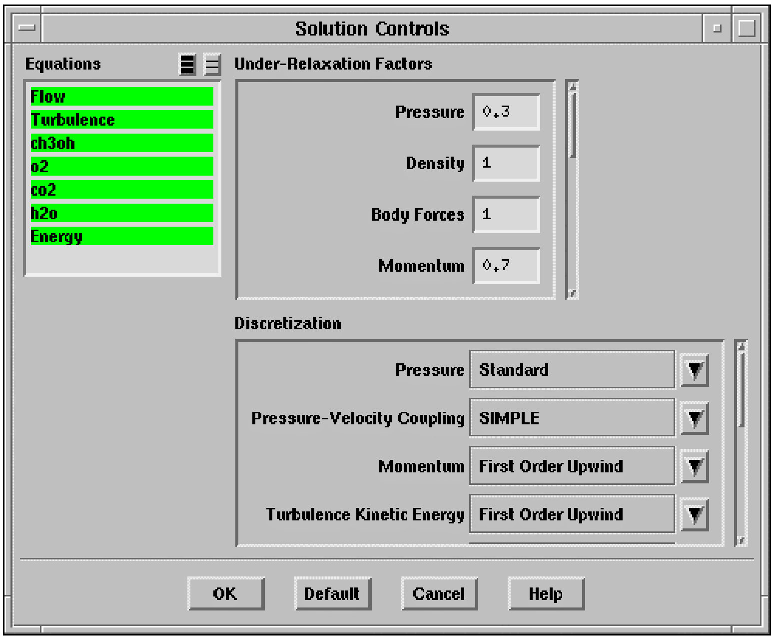


a) 在 **Compute From** 下拉列表中选择 **co-flow-air**。

b) 点击 **Init** 初始化各变量，然后关闭对话框。

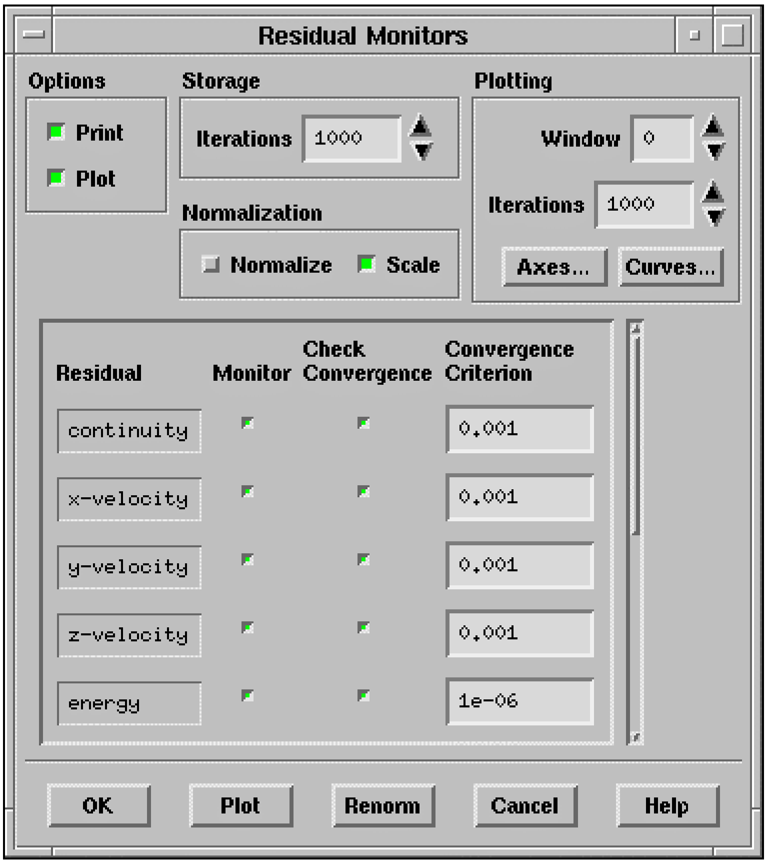
2. 保持 **under-relaxation factors** 中各项的默认设置。

Solve →Controls →Solution...



3. 在计算过程中显示残差曲线。

Solve →Monitors →Residual...



a) 在 **Options** 项中选择 **Plot**。

b) 点击 **OK**。

4. 保存 **case** 文件(spray1. cas)。

File →Write →Case...

5. 设置迭代计算 200 次。

Solve →Iterate...

迭代计算了大约 175 步后，计算收敛。

6. 保存 **case** 和 **date** 文件(spray1. cas and spray1. dat)。

www.myCFD.cn

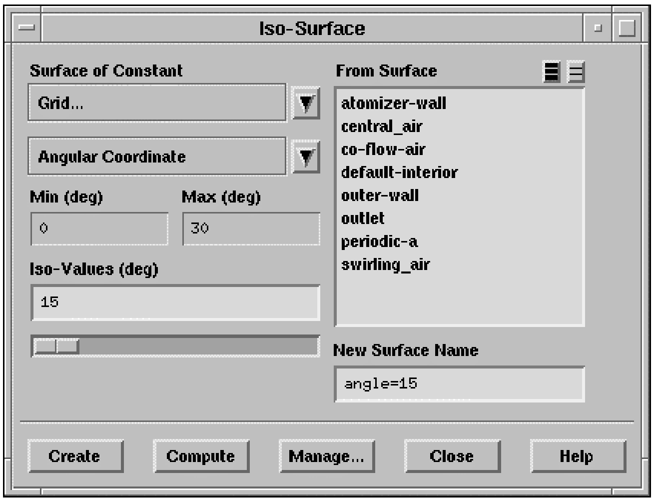
File →Write →Case & Data...

注意：

Fluent 会询问是否覆盖前面所保存的文件。

7. 创建特殊显示面，其上的指定变量符合某特定数值，检查喷雾器中央部分的流场。

Surface →Iso-Surface...



a) 在 **Surface of Constant** 列表中选择 **Grid...**和 **Angular Coordinate**。

b) 点击 **Compute**，更新最大值和最小值。

c) 在 **Iso-Values** 栏中输入 **15**。

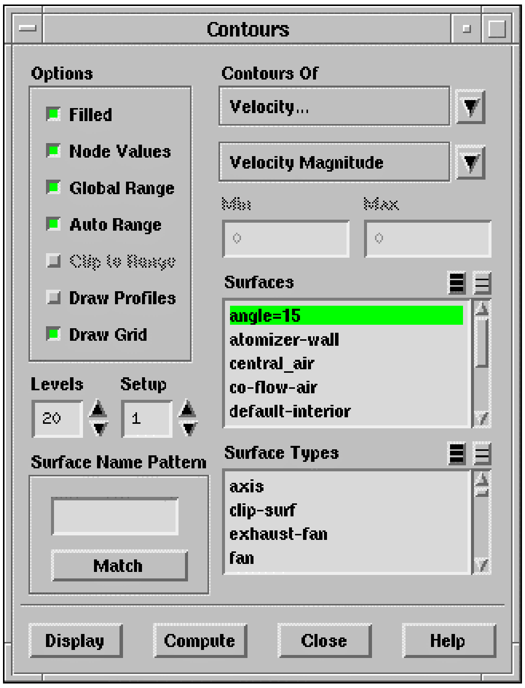
d) 在 **New Surface Name** 栏中输入 angle=15。

e) 点击 **Create** 创建显示面。

8. 通过观察速度数值的分布图像，检查计算情况。（图 15.3）

Display →Contours...

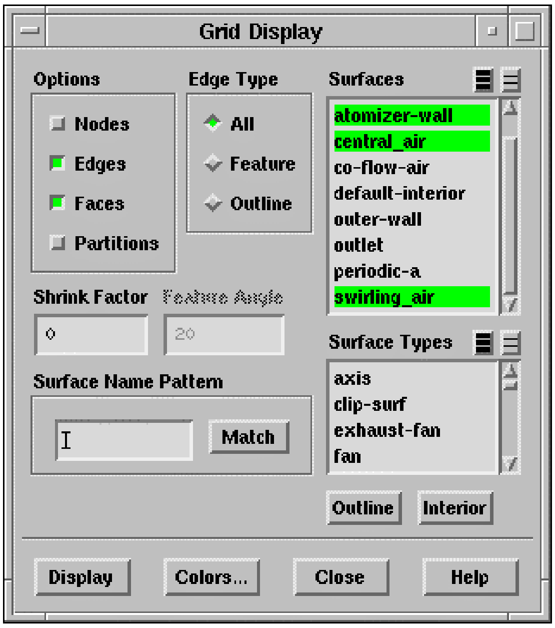
www.myCFD.cn



a) 在 **Contours Of** 下拉列表中选择 **Velocity...**和 **Velocity Magnitude**。

b) 在 **Options** 项中选择 **Filled** 和 **Draw Grid**。

此操作将会打开 **Grid Display** 对话框。



a) 保持 **Grid Display** 对话框内的默认设置，并关闭它。

b) 在 **Contours** 对话框内，在 **Surfaces** 列表中选择 **angle=15**。

c) 点击 **Display**。

d) 用鼠标改变图像，使其如图 15.3 所示。

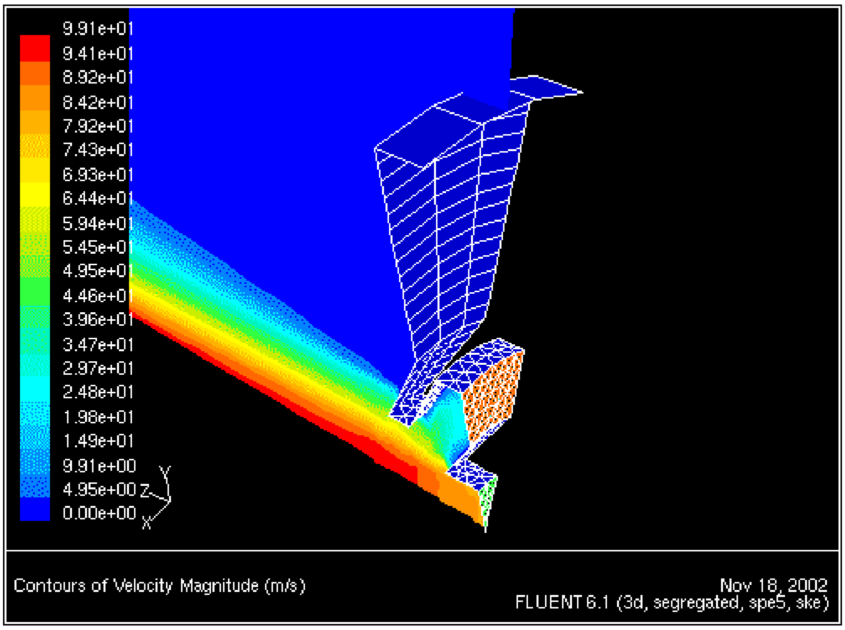
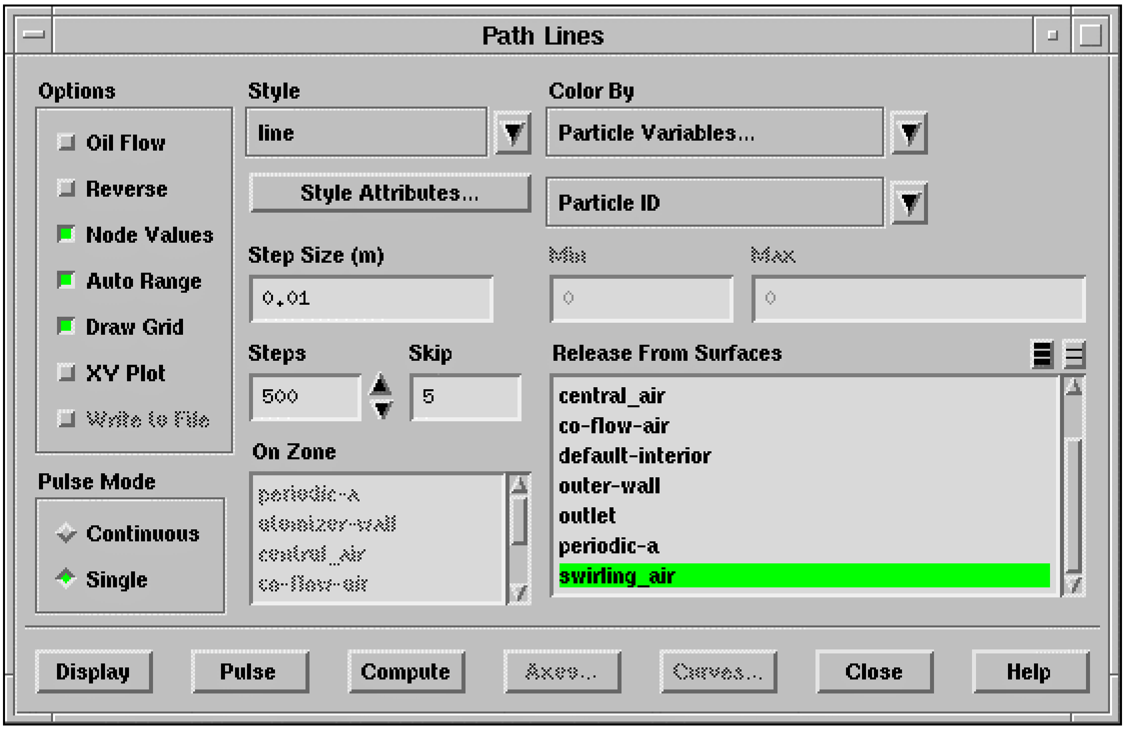


图 15.3　喷雾器中央位置的速度数值的分布图像

9. 显示环绕涡流中空气流动的迹线。（图 15.4）

Display →**Path Lines...**

www.myCFD.cn



a) 在 **Release From Surfaces** 下拉列表中选择 **swirling_air**。
   需要将下拉列表拖到最下方才能发现选项 **swirling_air**。
b) 将 **Skip** 栏的数值增加到 **5**。
c) 在 **Options** 项中选择 **Draw Grid**。
   此操作将会打开 **Grid Display** 对话框。
d) 保持 **Grid Display** 对话框内的默认设置，并关闭它。
e) 在 **Path Lines** 对话框中点击 **Display**。
f) 用鼠标改变图像，使其如图 15.4 所示。

www.myCFD.cn

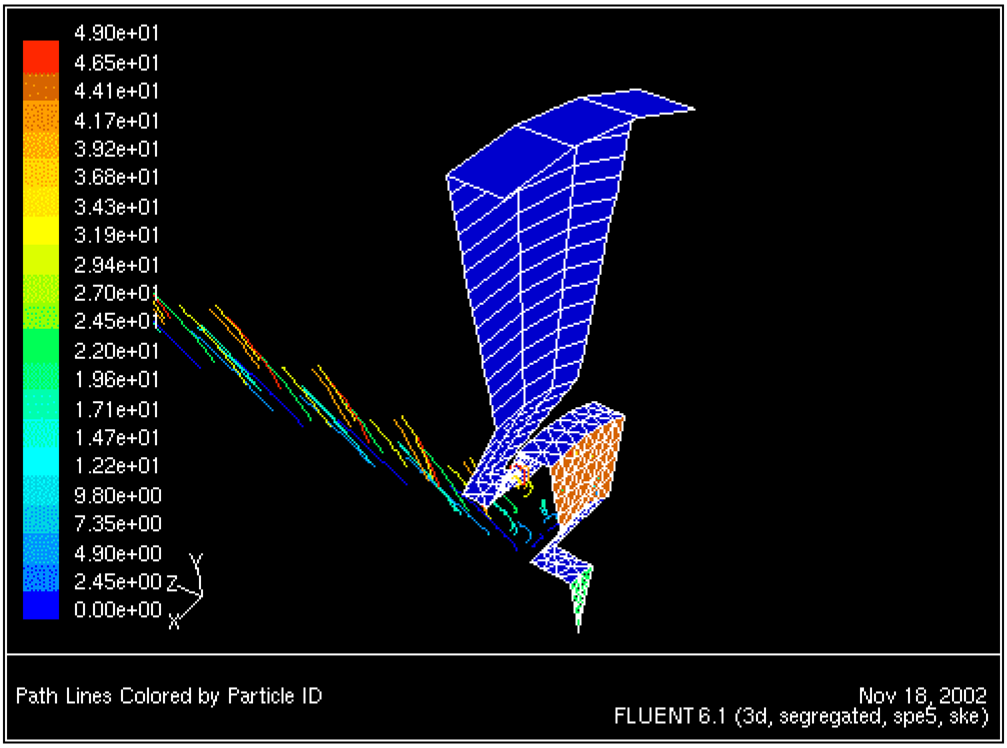


图 15.4　环绕涡流中空气流动的迹线

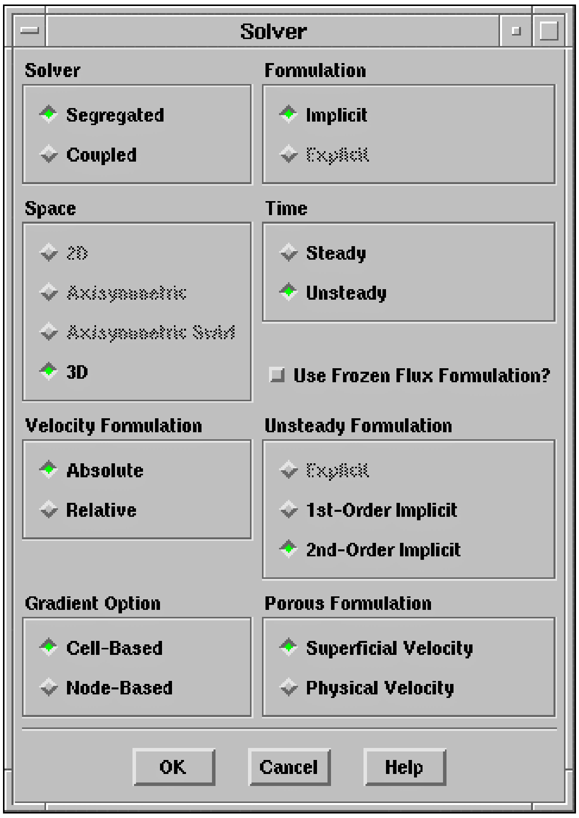
第 5 步：　使用时间推进法计算和创建雾滴喷射

在此步骤中，将会定义一个瞬态流动以及创建一个离散相的雾滴喷射。

1.　设置二阶隐式时间推进法求解。

Define　→Models　→Solver...

www.myCFD.cn

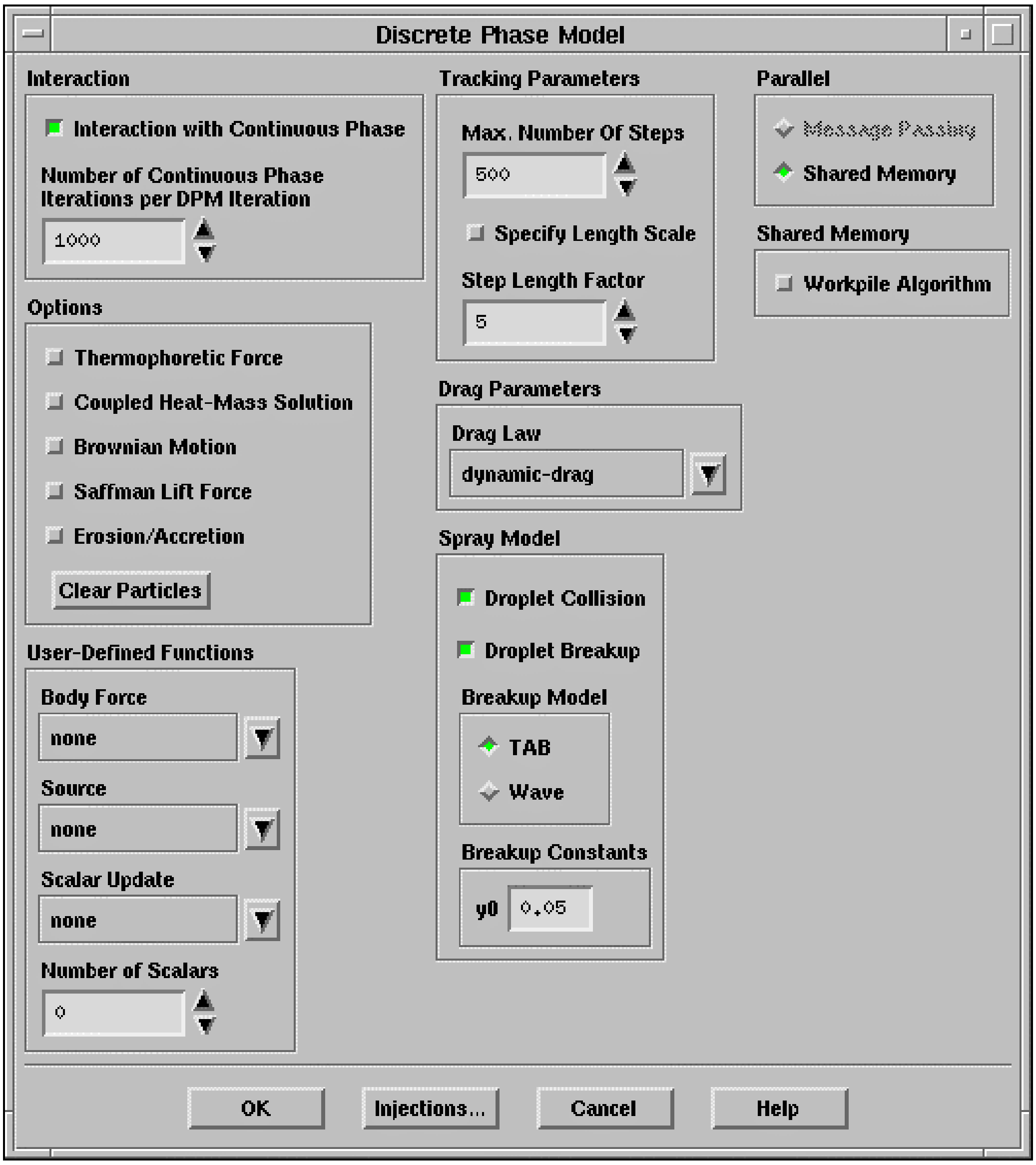


a) 在 **Time** 项中选择 **Unsteady**。

b) 在 **Unsteady Formulation** 项中选择 **2nd-Order Implicit**。

2. 定义离散相模型的参数。

Define →Models →Discrete Phase...



a)　定义界面相互作用。

i　在 **Interaction** 项中打开 **Interaction with Continuous Phase**。

此操作将使得离散相和连续相发生相互作用。

ii　在 **Number of Continuous Phase Iterations per DPM Iteration** 栏中输入 **1000**。

此选项控制着在气相每个迭代计算的时间间隔内离散相的迭代解。对于喷

www.myCFD.cn

雾问题，此项选项输入较大的数值会使计算结果更加理想。

b) 设置 **Tracking Parameters** 项。

i 不选择 **Specify Length Scale** 选项。

ii 保持 **Step Length Factor** 栏中的默认值。

c) 设置 **Unsteady Options** 项。

i 在 **Spray Models** 下，选择 **Droplet Collision** 和 **Droplet Breakup**。

ii 在 **Breakup Model** 下，保持选择 **TAB** 的默认设置。

iii 在 **Constants** 下，在 **y0** 栏中输入数值 **0.05**。

这是在计算中 **t=0** 时描述小滴变形的无量纲参数。

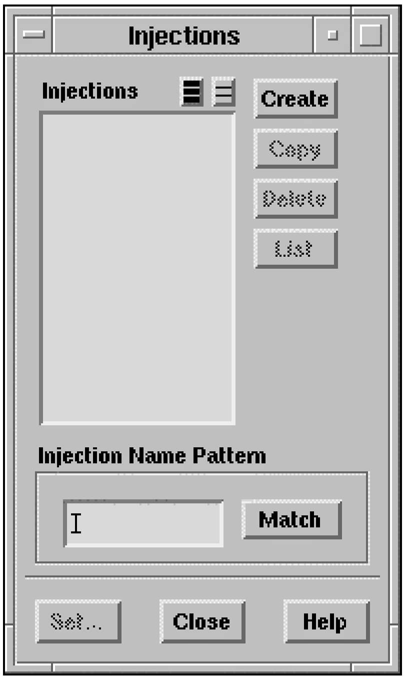
d) 在 **Drag Parameters** 下，在 **Drag Law** 的下拉列表中选择 **dynamic-drag**。

只有在使用 **Droplet Breakup** 模型的情况下，**dynamic-drag** 法则才可以使用。

3. 创建雾滴喷射源。

在此操作中，将定义喷雾器的特性。

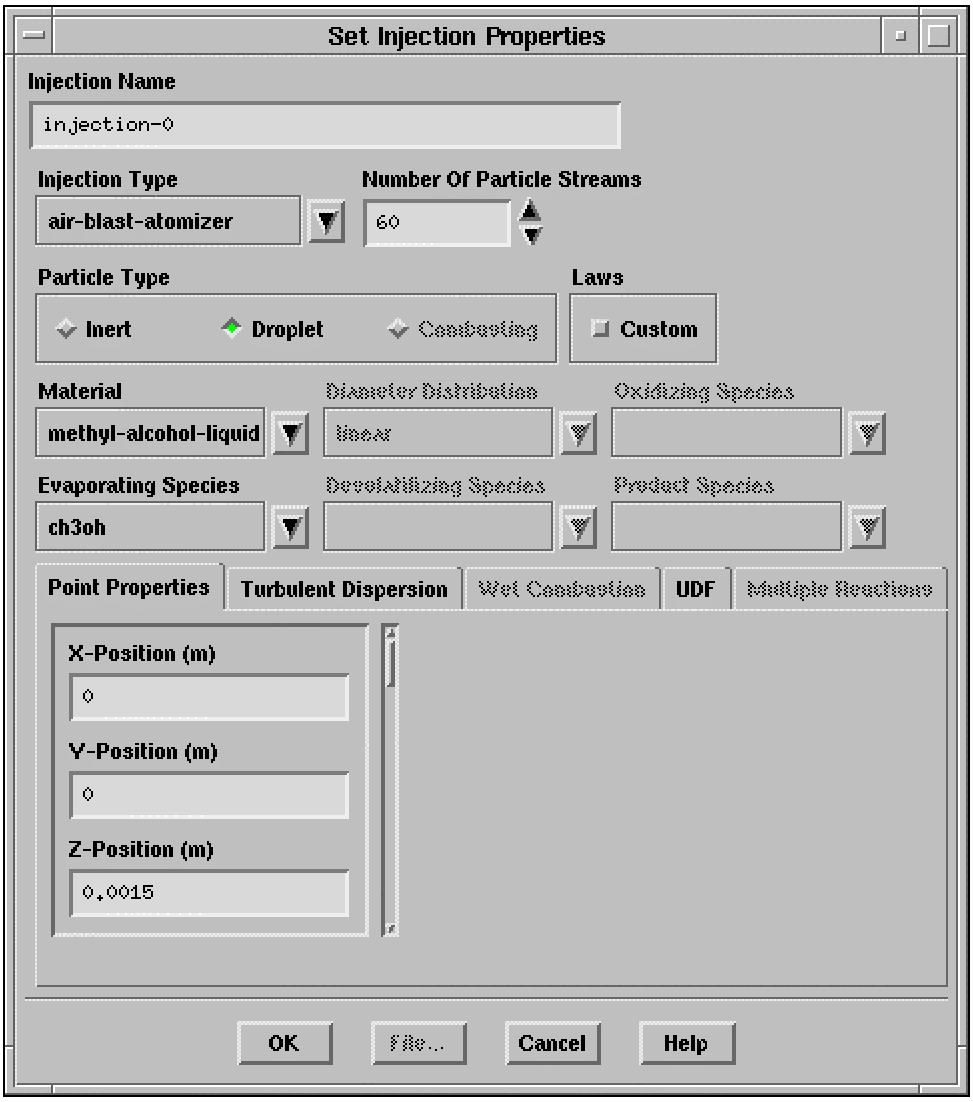
Define →Injections...



a) 点击对话框的顶部的 **Create** 按钮

www.myCFD.cn

此操作将会打开 **Set Injection Properties** 对话框。



b) 在 **Injection Type** 的下拉列表中选择 **air-blast-atomizer**。

c) 将 **Number Of Particle Streams** 栏中的数值增加到 **60**。

此选项控制着每个时间间隔发射到主流区的小滴群的群数量。

d) 在 **Particle Type** 下选择 **Droplet**。

e) 在 **Material** 的下拉列表中，选择 **methyl-alcohol-liquid**。

f) 设置 **point properties** 项。

i 在 **X-Position** 栏，**Y-Position** 栏和 **Z-Position** 栏中分别输入数值 **0**，**0** 和

0.0015。

ii　在 **X-Axis** 栏，**Y-Axis** 栏和 **Z-Axis** 栏中分别输入数值 **0**，**0** 和 **1**。

iii　在 **Temperature** 栏中输入数值 **263K**。

iv　在 **Flow Rate** 栏中输入数值 1.7e-4 **kg/s**。

此数值是喷雾器中心角为 **30**° 扇形部分的甲醇流量。对于整个喷雾器，其实际流量为此数值的十二倍。

v　保持 **Start Time** 栏中的默认数值 0，改变 **Stop Time** 栏中的数值为 100s。

对于此问题，喷雾器将会从 t=0 开始喷射，经过设定的时间后才会停下。为 **Stop Time** 项设置一个较大的数值(例如 100s)，将能确保喷雾器的喷射不会那么快停止。

vi　在 **Injector Inner Diam.**栏和 **Injector Outer Diam.**栏中输入数值 **0.0035m** 和 **0.0045m**。

vii　将 **Spray Half Angle** 栏设定为-45 **deg**。

雾化半角是液膜轨迹与喷雾器喷嘴中心线的夹角。在此算例中，因为液膜最初向喷嘴的中心线收缩，所以雾化半角是负值。

viii　将 **Relative Velocity** 栏设定为 82.6 **m/s**。

此相对速度的数值是喷雾器喷出的空气和液膜间的相对速度的期望值。

ix　保持 **Azimuthal Start Angle** 栏的默认数值 **0**，将 **Azimuthal Stop Angle** 栏中的数值更改为 30 **deg**。

此操作将雾滴喷射限制在从喷雾器上截取的中心角为 30° 的扇形部分中。

g)　设置 **turbulent dispersion** 项。

i　点击 **turbulent dispersion** 项。

ii　在 **Stochastic Tracking** 下，选择 **Stochastic Model** 和 **Random Eddy Lifetime**。

这些模型将会模拟小滴的湍流散布状况。

注意：

在喷射出的雾滴会撞击壁面的情况下，需要定义壁面边界条件来反映这种实际状况。可在 **Wall** 对话框中，点击 **DPM** 项，再从 **Boundary Cond. Type** 的下拉列表中选择 **wall-jet**。虽然此算例中存在着作为喷雾器结构一部分的壁

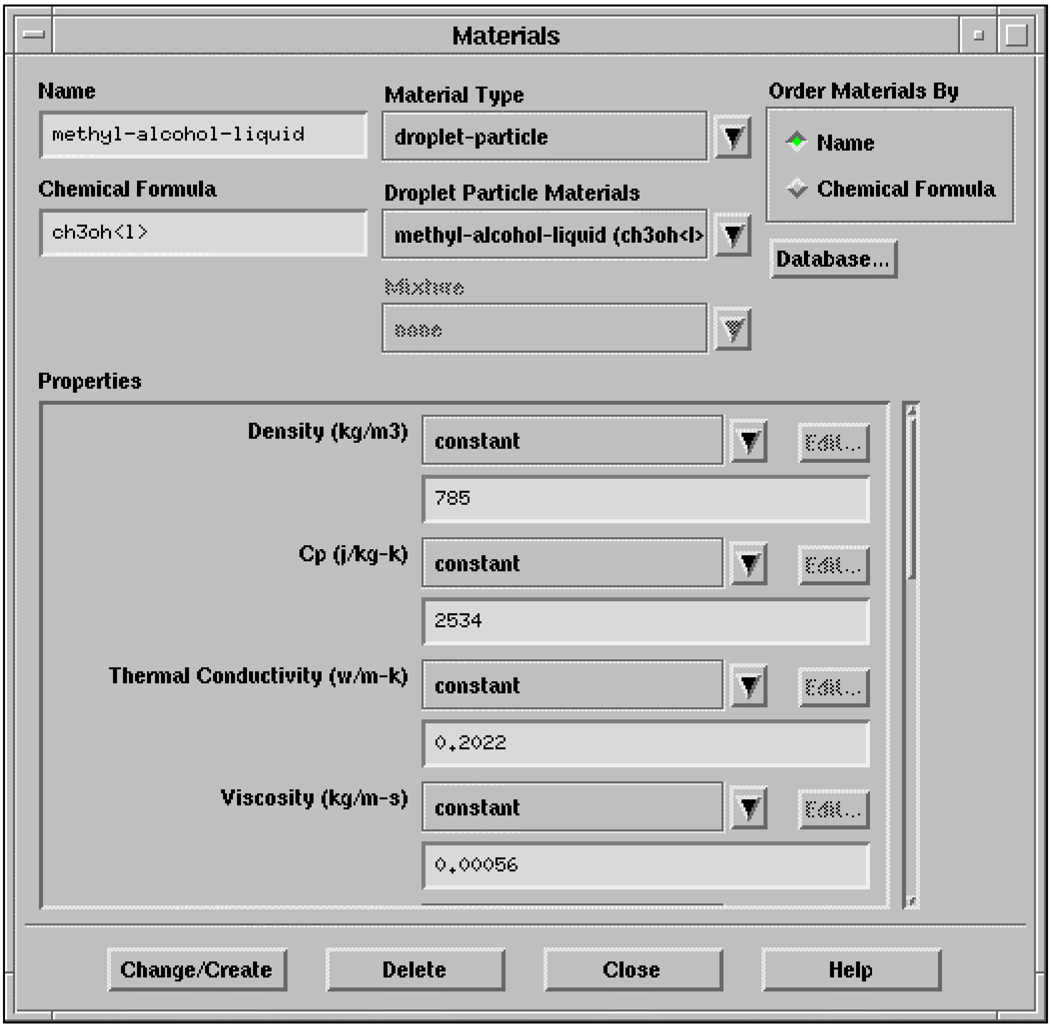
www.myCFD.cn

面，但因为这些壁面不在喷射雾滴的运动轨迹上，所以不需要定义壁面边界条件。

4. 设置小滴的物质特性。

因为使用了二级雾化模型（包括了小滴的破碎和合并），所以小滴的物质特性必须得设定。

Define →Materials...



www.myCFD.cn

a) 在 **Material Type** 下拉列表中选择 **droplet-particle**。

b) 在 **Properties** 下，在 **Viscosity** 栏中输入数值 0.0056 **kg/m-s**。

c) 在 **Properties** 下，将下拉列表拖到最底部，在 **Droplet Surface Tension** 栏中输入数值 0.0222 **N/m**。

d) 点击 **Change/Create**，确认对甲醇雾滴物质特性的修改。

第 6 步： 计算非定常流动

1. 设置离散相流动的初始条件。

重新设置离散相模型进行计算，必须确保相间接合已经被初始化。

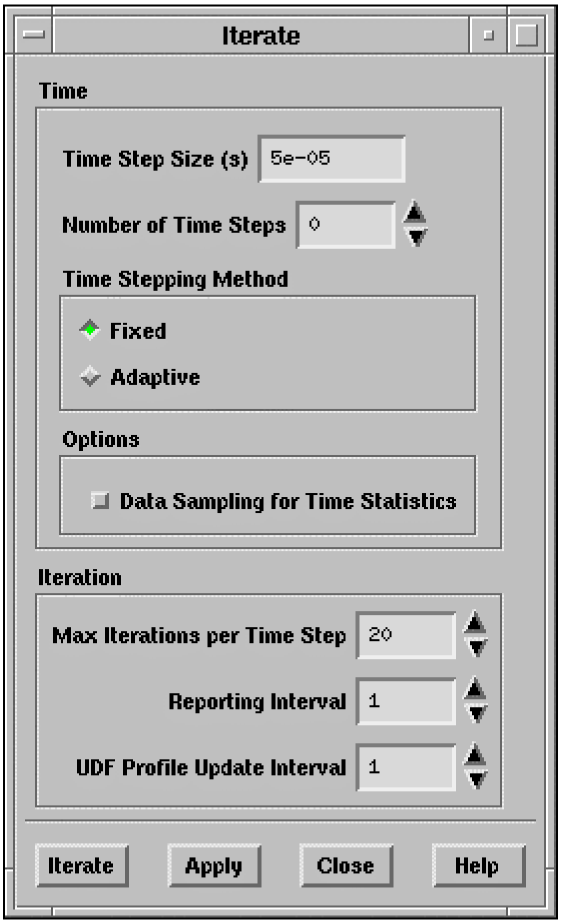
Solve →Initialize →Reset DPM Sources

2. 设置时间间隔参数。

正确设定时间间隔对于使用时间推进法进行精确计算具有重要意义。

Solve →Iterate...

www.myCFD.cn



a)　在 **Time Step Size** 栏中输入数值 5e-05 **s**。

b)　点击 **Apply**。

3.　保存瞬态流动计算的 **case** 文件(spray2. cas)。

File　→Write　→Case...

4.　在一个时间间隔内进行计算。

Solve　→Iterate...

先进行一个时间间隔内的计算，有利于观察喷雾器喷出的雾滴在未完全散开时的分布情况。

a)　在 **Number of Time Steps** 栏中输入数值 **1**。

b)　点击 **Iterate**。

注意：

www.myCFD.cn

在第一个时间间隔内进行计算，Fluent 将仅仅进行少于 20 次的迭代计算，因为这是在 **Max Iterations per Time Step** 进行了详细设定，使得计算收敛。对于一个实际问题，确保在每个时间间隔内计算收敛，是非常重要的，因此，可以增大 **Max Iterations per Time Step** 的数值。在此算例中，默认的 20 次迭代计算是为了加快计算过程。

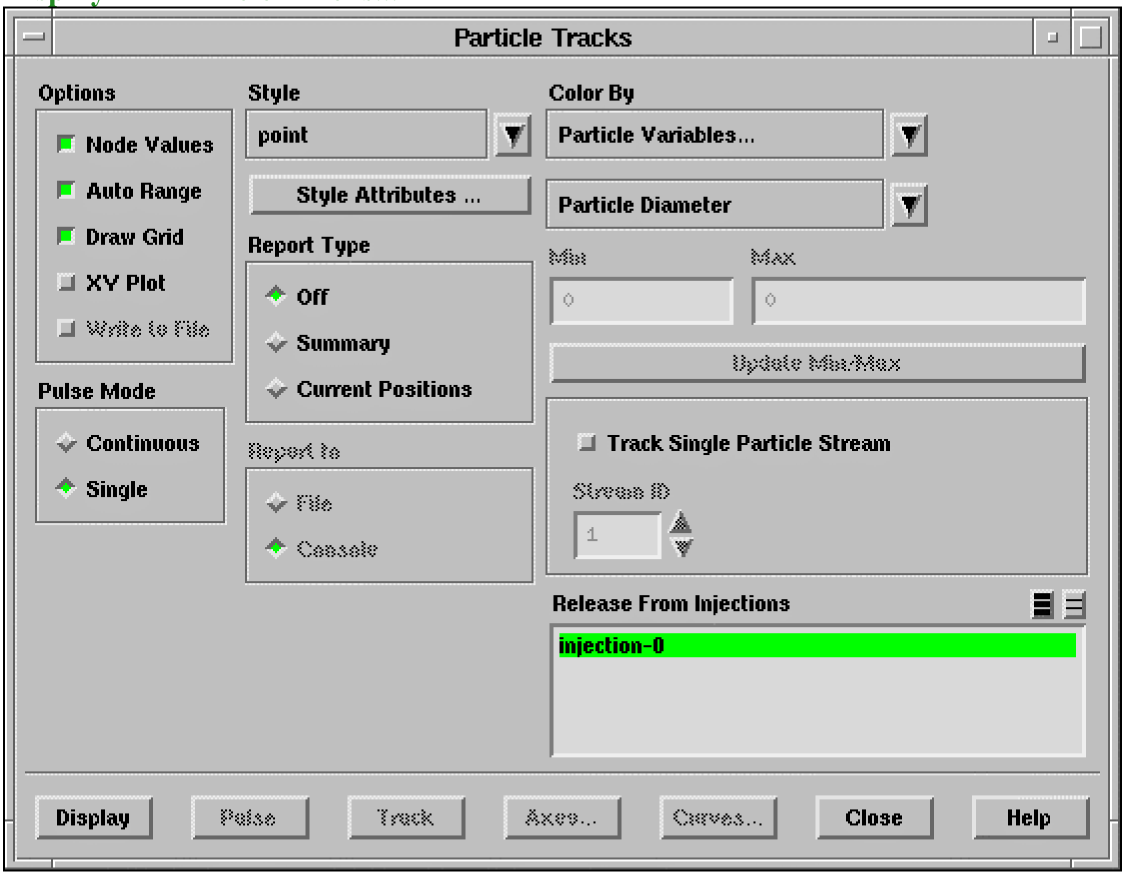
5. 保存新的 **case** 和 **data** 文件（spray2. cas 和 spray2. dat）。

File → Write → Case & Data...

6. 显示雾滴喷射中雾滴的轨线。（图 15.5）

此操作可以观察到在一个时间间隔的计算后喷雾器喷出的雾滴的分布情况。因为仅仅进行了一个时间间隔的计算，所以雾滴仍然只是分布在喷雾器周围。

Display → Particle Tracks...



a) 在 **Style** 列表中选择 **point**。

b) 点击 **Style Attributes...**。

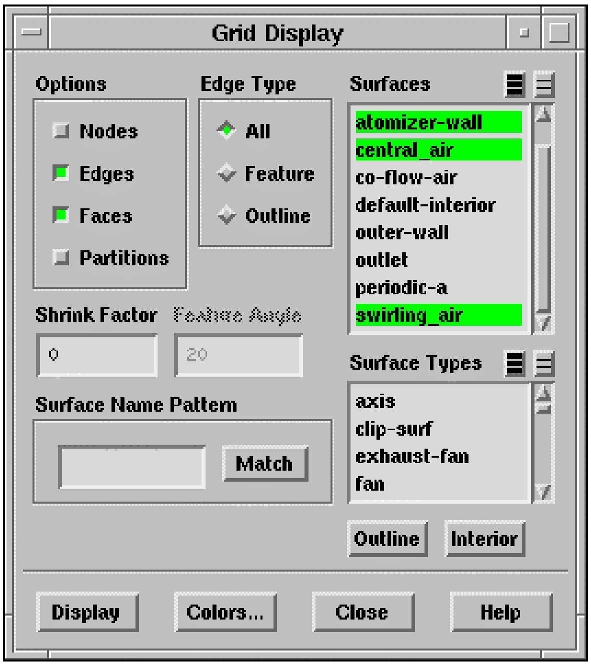
此操作将会打开 **Path Style Attributes** 对话框。



c) 在 **Marker Size** 栏中输入数值 **0.25**，点击 **OK**。

d) 在 **Particle Tracks** 对话框中，在 **Options** 下选择 **Draw Grid**。

此操作将会打开 **Grid Display** 对话框。



e) 保持其默认设置，并关闭对话框。

www.myCFD.cn

f) 在 **Particle Tracks** 对话框中，在 **Color By** 的下拉列表中选择 **Particle Variables...**和 **Particle Diameter**。

此操作将使用不同的颜色来显示不同直径的雾滴。

g) 在 **Release From Injections** 列表中选择 **injection-0**。

h) 点击 **Display**。

i) 使用鼠标获得如图 15.4 所示的图像。

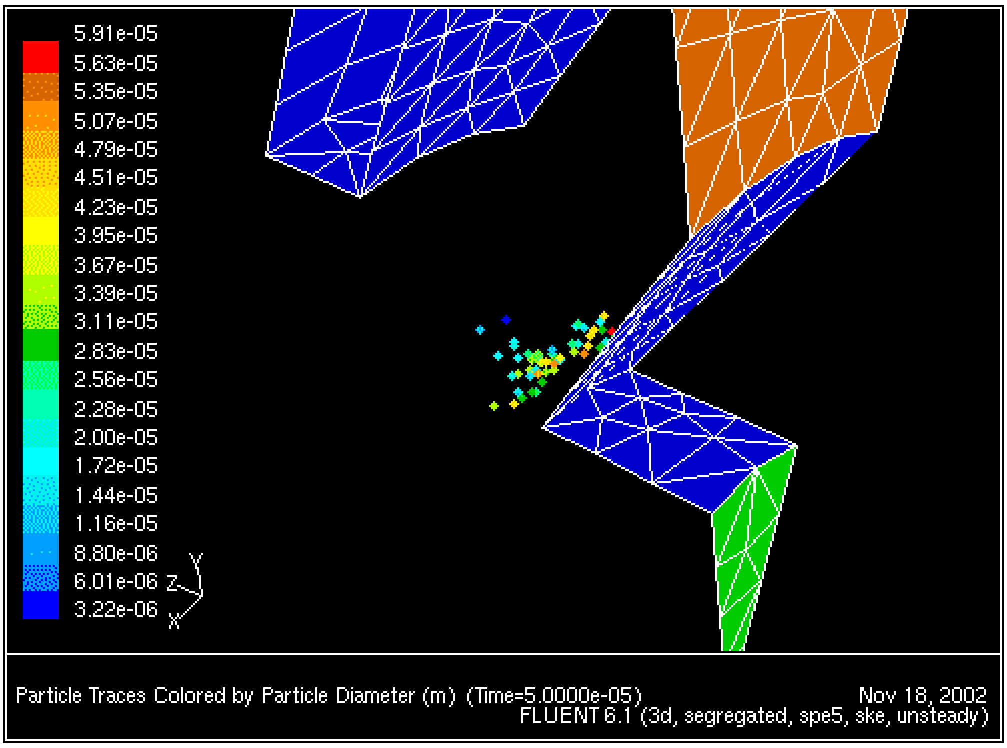


图 15.5 一个时间间隔计算后的雾滴的轨迹

气体辅助雾化器模型假设喷雾器中存在着一个圆柱状的液膜，此液膜将分解成液带和小液滴。可人为适当地设定在此模型中，液滴群将以一个环状的形式输入到主流区，此环的半径由喷嘴内部和外部半径决定。

注意到液滴的最小直径为 **10^{-4}m**（即 **0.1mm**），稍稍小于液膜的厚度，这数值是有根据的。喷嘴的内部直径和外部直径分别是 **3.5mm** 和 **4.5mm**。因此液膜的厚度是（**4.5**－3.5）／2=0.5㎜。气体辅助雾化器本身就决定了雾滴的分布，

www.myCFD.cn

这一事实决定了雾滴直径的范围。

也可以注意到液滴分布在距离喷嘴非常近的空间中。因为选择了二级雾化模型（包含液滴的破碎和合并），所以在雾滴喷射到主流区的过程中，液滴间将发生碰撞和合并。但是，一旦雾滴进入主流区，将不会再受到气体辅助雾化器模型的影响。

7. 再进行十个时间间隔内的迭代计算。

Solve →Iterate...

8. 保存新的 **case** 和 **data** 文件（spray3. cas 和 spray3. dat)。

第 7 步： 后处理

1. 再次显示雾滴轨迹，观察雾滴的散布情况。

Display →Particle Tracks...

a) 在 **Particle Tracks** 对话框中点击 **Display**。

b) 使用鼠标获得如图 15.6 所示的图像。

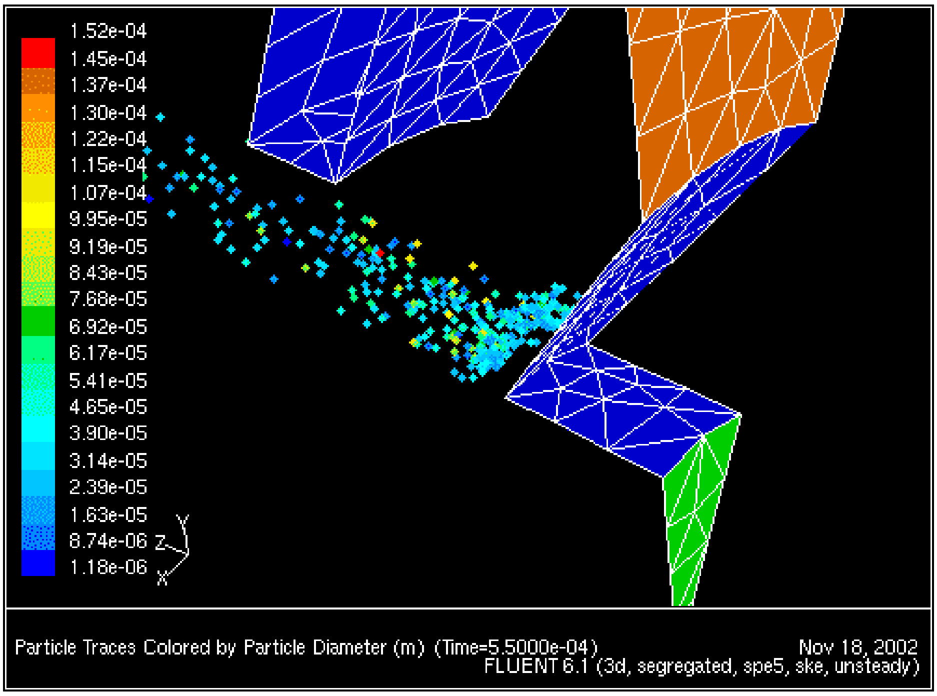
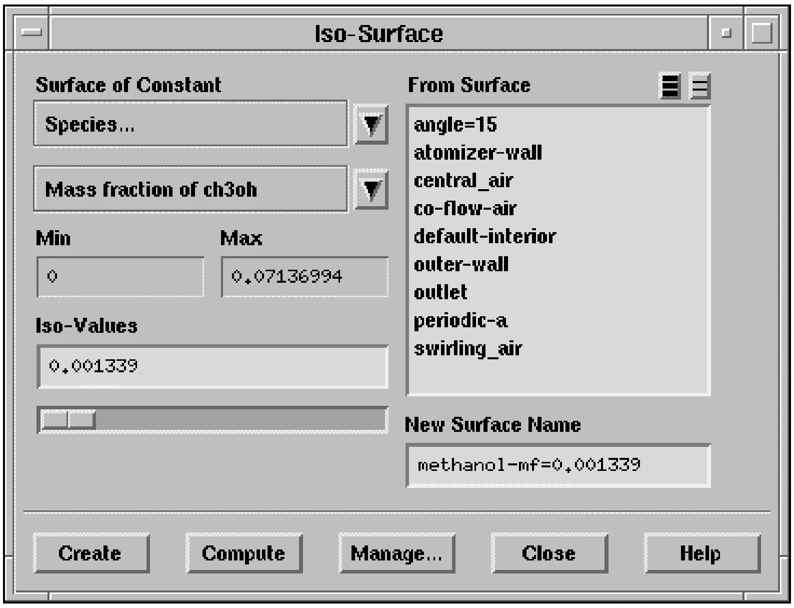


图 15.6 11 个时间间隔计算后的雾滴轨迹

www.myCFD.cn

2. 创建一个特殊显示面，其上的甲醇质量分率符合某一特定值。

Surface →Iso-Surface...



a) 在 **Surface of Constant** 列表中选择 **Species...**和 **Mass fraction of ch3oh**。

b) 点击 **Compute** 更新最小值和最大值。

c) 在 **Iso-Values** 栏中输入数值 0.001339。

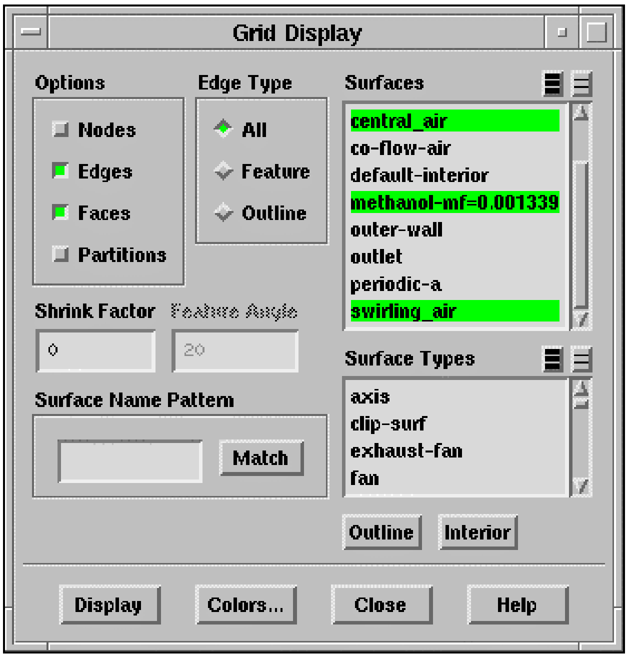
d) 在 **New Surface Name** 栏中输入 methanol-mf=0.001339。

e) 点击 **Create** 创建显示面。

3. 显示刚刚创建的显示面(**methanol-mf=0.001339**)。

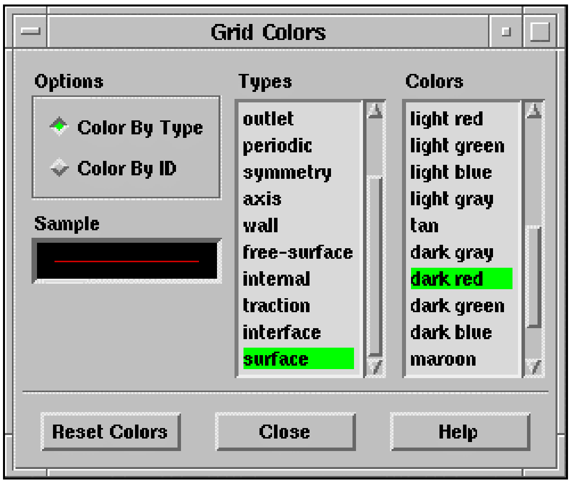
Display →Grid...

www.myCFD.cn



a) 在 **Surfaces** 列表中选择 **methanol-mf=0.001339**。

b) 点击 **Colors...**。



c) 在 **Grid Colors** 对话框中选择 **Color By Type**。

d) 将 **Types** 的下拉列表拖至最下方，选择 **surface**。在 **Colors** 列表中选择 **dark red**。

此操作会使 Fluent 用红色来显示创建的显示面，有利于将其从周围的网格中区分出来。

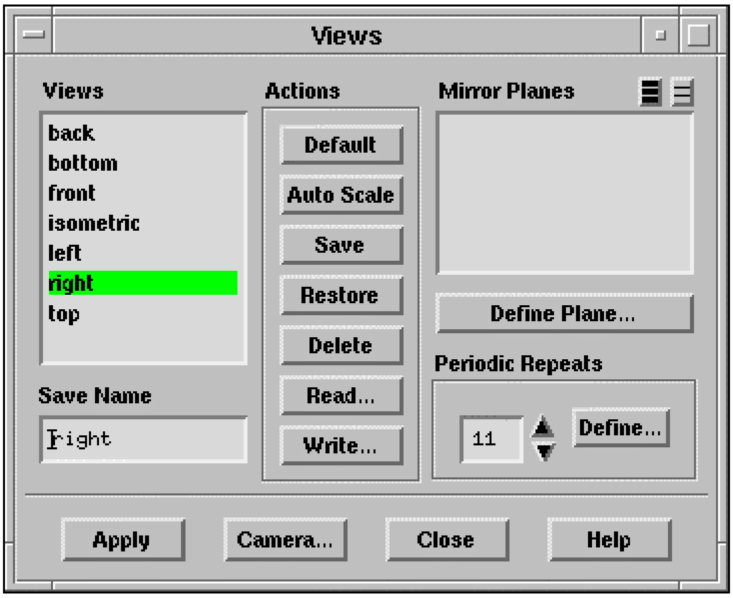
www.myCFD.cn

e) 在 **Grid Display** 对话框中点击 **Display**。

图像显示窗口将会更新，显示出显示面。

4. 调整图像显示，显示整个喷雾器及其喷雾情况。

Display →Views...



a) 将 **Periodic Repeats** 栏中的数值增加到 **11**。

b) 在 **Views** 对话框中点击 **Apply**。

c) 在 **Grid Display** 对话框中点击 **Display**。

图像显示窗口将会更新，显示出完整的喷雾器及其喷雾情况。

d) 使用鼠标获得如图 15.7 所示的图像。

www.myCFD.cn

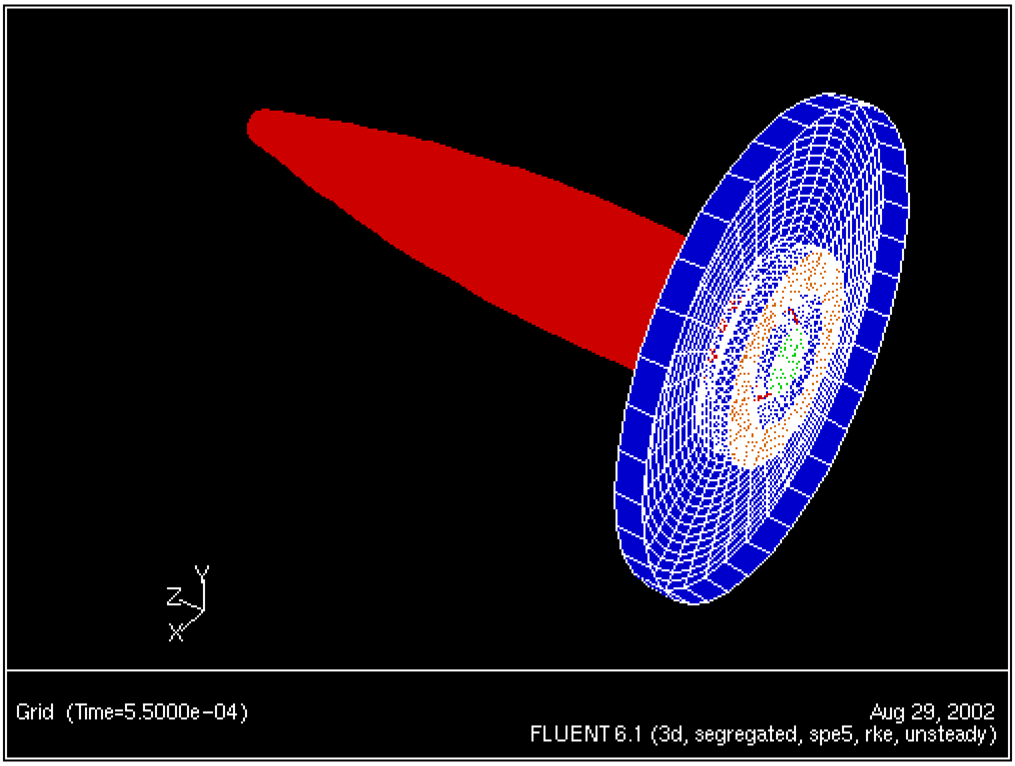


图 15.7　完整的喷雾器以及特定甲醇质量分率的显示图像

概要

在此向导中，定义了一个气体辅助雾化器的离散相雾化喷射源，并且使用了二阶隐式非定常流动求解器进行瞬态流动的计算。根据计算所得数据生成图像，可观察甲醇雾滴离开喷雾器喷嘴后的分布情况。此外，还可察看甲醇的质量分数的等势面。

www.myCFD.cn

算例 18　使用混合物多相模型和欧拉多相模型

引言

这个算例分析的是水和空气在 T 型管中的流动，首先用计算精度较小的混合模型来解决这个问题，然后再改为用更精确的欧拉模型。最后，再比较用这两种方法或得的结果。

在这个算例中你将学会以下方法：

- 使用关于滑流速度的混合模型
- 为内部流动设置边界条件
- 用分解求解器去考虑一种解决办法
- 使用欧拉模型
- 比较用两种方法获得的结果

前提条件

在做这个算例时，就假设用户已熟悉了 FLUENT 的菜单结构，同时已经阅读并解决了算例 1。因此下面算例中的一些步骤和解决的过程将不再明确地说明。

问题描述

这个问题考虑的是气水混合物在管中向上流动，然后在 T 型交叉点处分流。其中管宽 25mm，入口端管长为 125mm，上部和旁边的管长都是 250mm。问题的几何体形状和数据如图 18.1 所示。

www.myCFD.cn

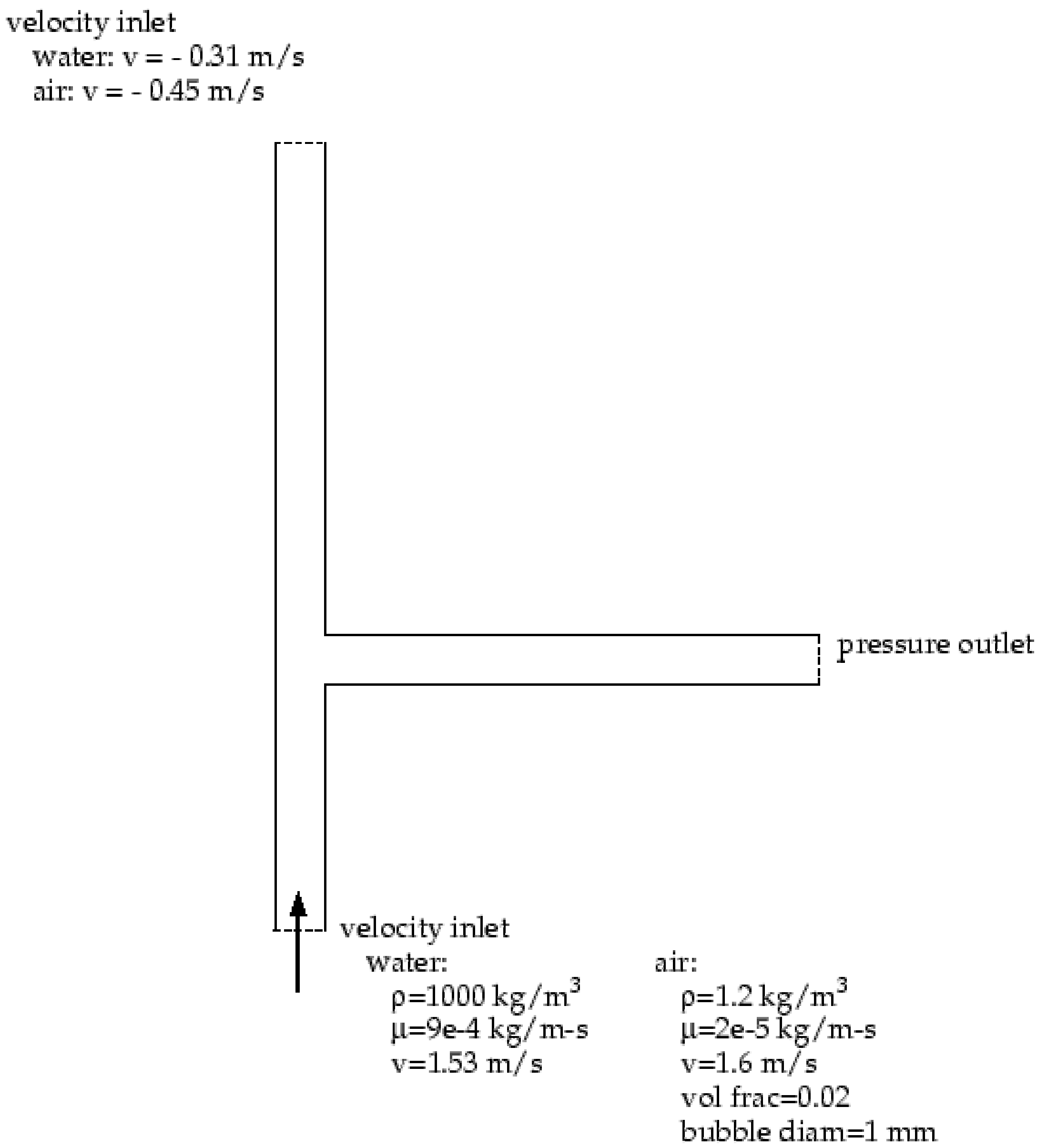


图 18.1 问题说明

准备工作

1. 把 tee 文件夹下的 tee.msh 文件从 FLUENT 的 CD 文件中拷贝到你的工作目录下（和算例 1 描述的一样）。

www.myCFD.cn

2. 启动 FLUENT 的 2D 求解器。

第 1 步：网格

1. 读入网格文件（tee.msh）

   File →Read →Case...

   随着 FLUENT 读入网格文件，将会在信息反馈窗中显示有关信息。

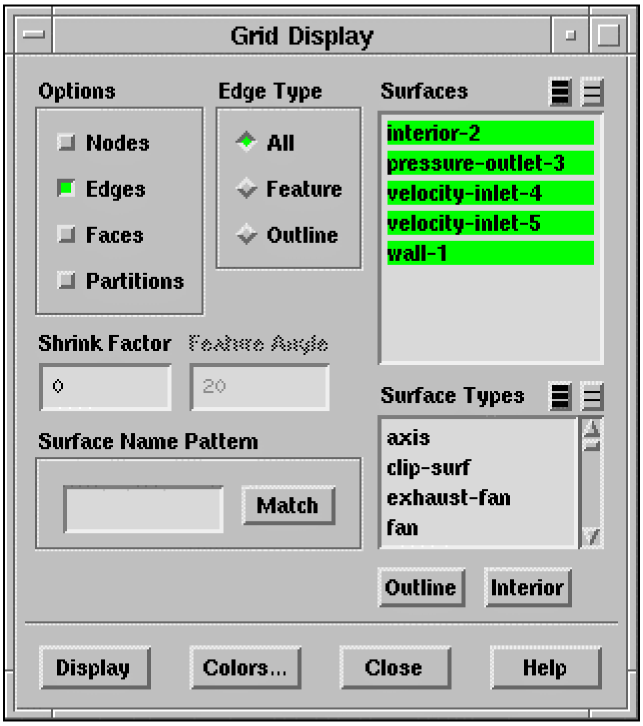
2. 检查网格。

   Grid →Check

   FLUENT 将对网格执行各种检查，并在信息反馈窗口中显示其过程。特别要注意显示的最小体积的大小，确保它是一个正数（否则 FLUENT 无法进行计算）。

3. 显示网格。

   Display →Grid...



(a) 用默认设置显示网格（如图 18.2）。

www.myCFD.cn

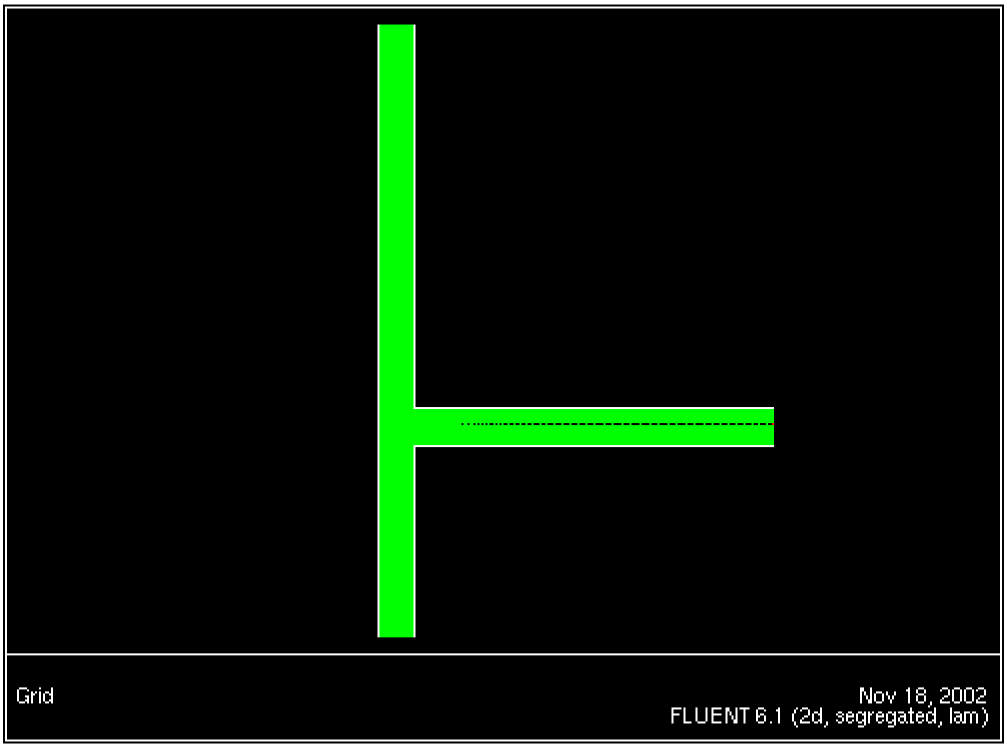


图 18.2　T 型管的网格

另外：

你可以使用鼠标右键去检查每条边界线的区号，如果你用鼠标右键点击图形窗口中的某一条边界线，它的区号，名称和类型将在 FLUENT 的信息反馈窗口中显示出来。当你有几个相同类型的边界而又想要把它们快速区分出来时，这个功能特别有用。

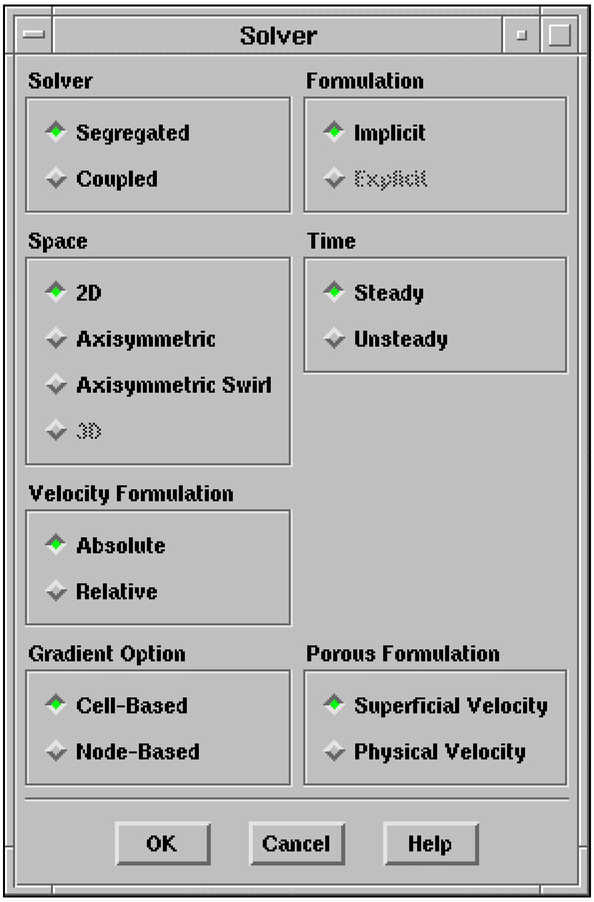
第 2 步：建立求解模型

1. 保留 2D 定常分解求解器的默认设置不变。

   Define →Models →Solver...

   分解求解器必须用来计算多相流。

www.myCFD.cn



2. 激活多相混合模型中的滑流速度。

Define →**Models** →**Multiphase...**

(a) 选择 **Mixture** 作为 **Model**。

这时混合模型面板将展开，显示出输入项。

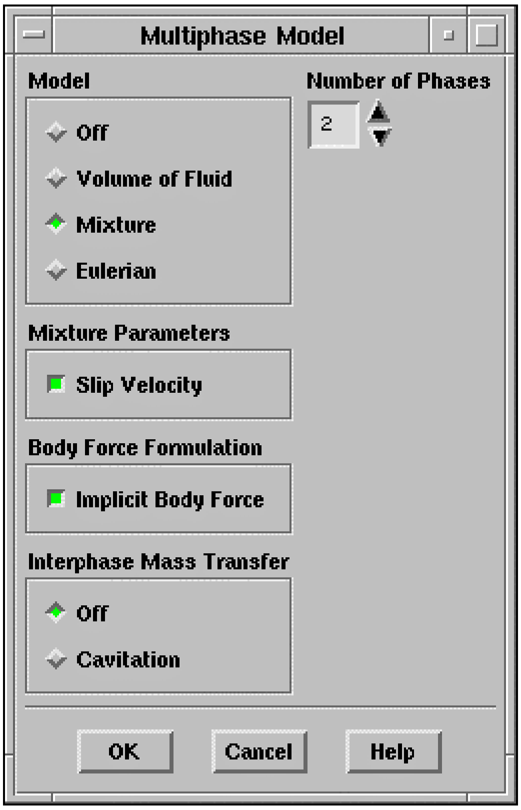
(b) 确保 **Mixture Parameters** 下的 **Slip Velocity** 是开启的。

由于不同的相在速度上有很大的不同，所以你需要选择滑流速度方程。

(c) 选择 **Body Force Formulation** 下的 **Implicit Body Force** 项。

这个处理能改善在计算局部平衡的动力方程中压力梯度和质量力的收敛。它常在质量力比粘滞力和对流力大得多时用，即在 VOF 和混合问题中使用。

www.myCFD.cn



3. 开启标准 k- ϵ 湍流模型和标准壁面函数。

Define → **Models** → **Viscous...**

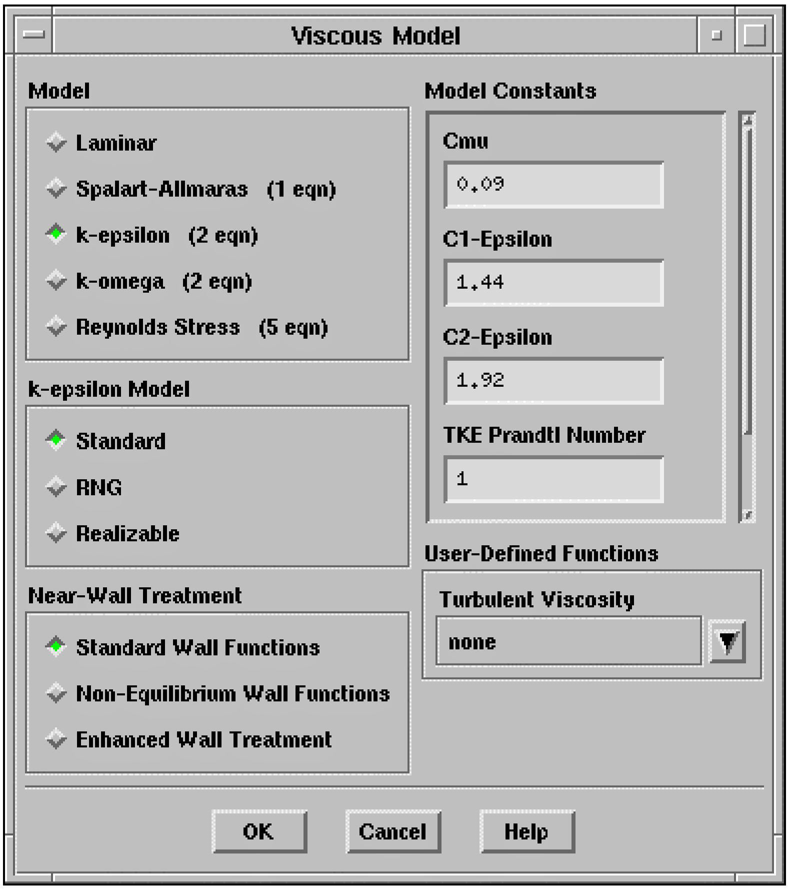
(a) 选择 **k-epsilon** 作为 **Model**。

(b) 在 **k-epsilon Model** 下，保留其默认选择 **Standard** 不变。

当使用了标准壁面函数时，标准 k- ϵ 模型在精确解析混合问题方面非常有效。

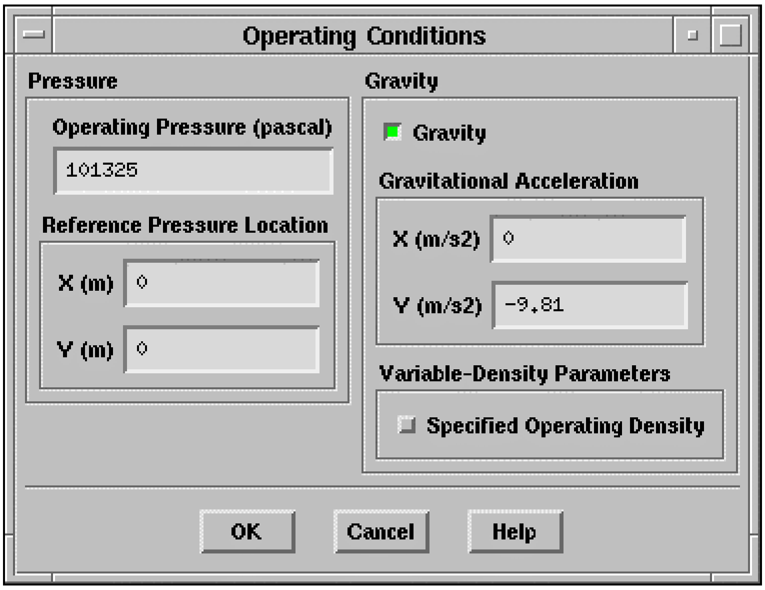
(c) 保持 **Near-Wall Treatment** 下的默认设置 **Standard Wall Functions** 不变。在这个问题中使用了标准壁面函数，因而不需要非常精细的网格。

www.myCFD.cn



4. 设置重力加速度。

www.myCFD.cn



Define →**Operating Conditions...**

(a) 开启 **Gravity**。

这时面板会展开以显示出另外的输入项。

(c) 在 **Y** 轴方向设置 **Gravitational Acceleration** 为-9.81m/s^2。

第 3 步：设置流体材料

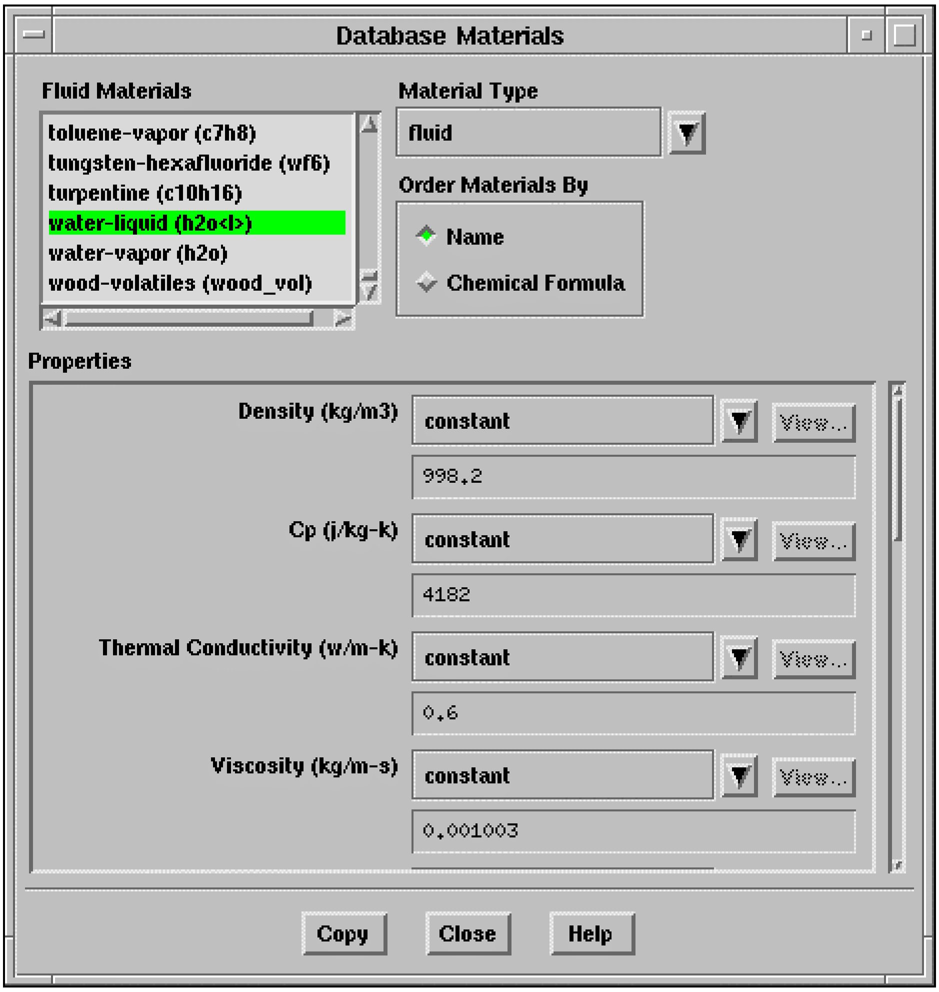
1. 从材料数据库中复制流水用来作为基本相。

   Define →**Materials...**

   (a) 在 **Materials** 面板中点击 **Database...**按钮。

   这时 **Database Materials** 面板将会打开。

www.myCFD.cn



(b) 在 **Fluid Materials** 的列表中选择 **water-liquid**（**h2o<1>**）。

(c) 点击 **Copy** 从而为你的模型复制流水的信息。

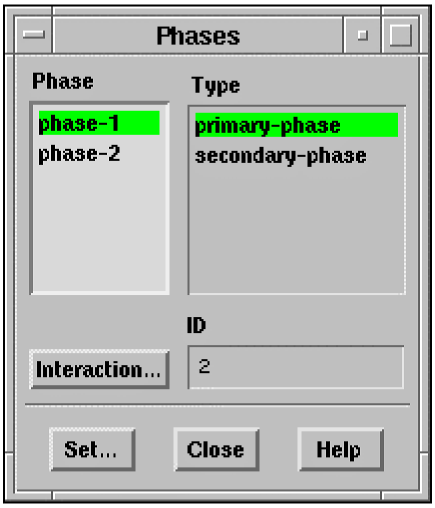
(d) 关闭 **Database Materials** 面板和 **Materials** 面板。

第 4 步：设置相

1. 定义在 T 型管中流动的流水和气相。

   Define →**Phases...**

www.myCFD.cn



(a) 指定水作基本相。

i. 选择 **phase-1**，同时点击 **Set...**按钮。



ii. 在 **Primary Phase** 面板中 **Name** 的文本框里输入 water。

iii. 从 **Phase Material** 的下拉列表中选择 **water-liquid**。

(b) 指定空气作为第二相。

i. 选择 **phase-2**，同时点击 **Set...**按钮。

www.myCFD.cn



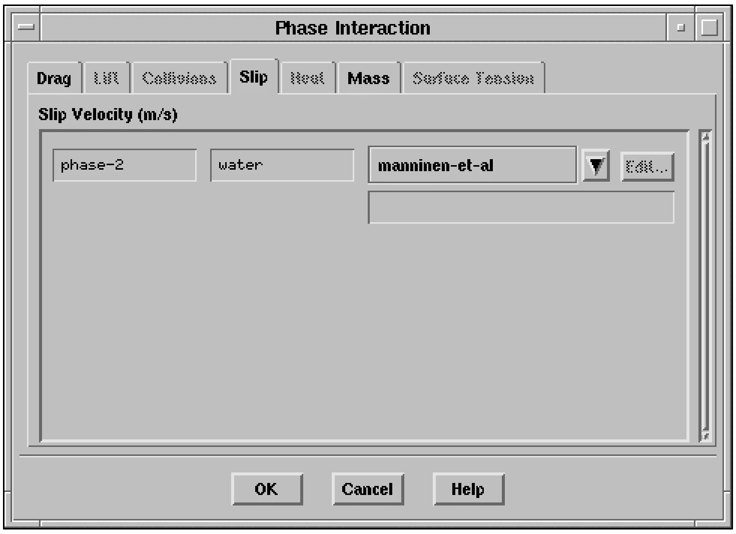
ii. 在 **Secondary Phase** 面板中 **Name** 的文本框里输入 air。

iii. 从 **Phase Material** 的下拉列表中选择 **air**。

iv. 设置 **Diameter** 为 0.001m。

2. 核查滑流速度公式是否已被使用。

www.myCFD.cn



(a)在 **Phases** 面板中，点击 **Interaction...**按钮。

(b)在 **Phase Interaction** 面板中，点击 **Slip** 图标。

(c)保持 Slip Velocity 的下拉列表中的默认选择 manninen-et-al。

第 5 步：设置边界条件

对这个问题你需要为三条边设置边界条件：上部和下部的速度入口，以及压力出口。

Define →Boundary Conditions...

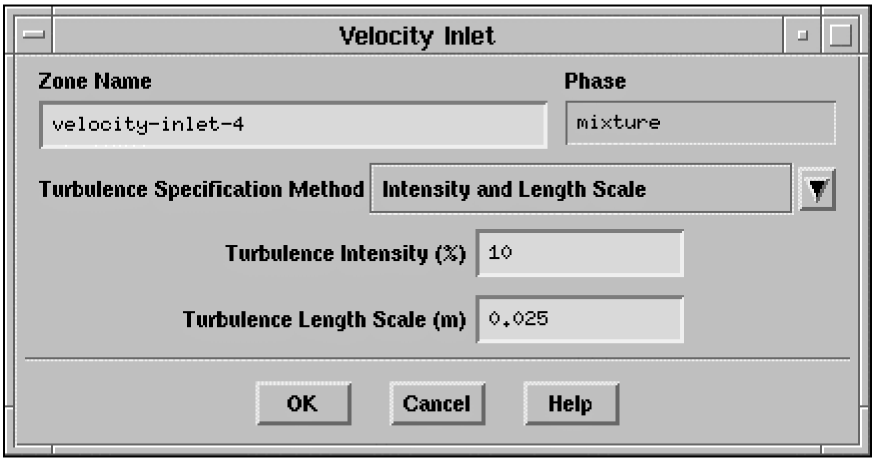
1. 为下部的速度入口设置边界条件（**velocity-inlet-4**）。

   对于多相混合模型，你得在速度入口为混合物指定条件（也就是应用于所有相的条件），同时还得明确说明基本相和第二相的条件。

   (a)为 **velocity-inlet-4** 中的混合物设置条件。

   i. 在 **Boundary Conditions** 面板中，保持 **Phase** 的下拉列表中的默认设置为 **mixture**，然后点击 **Set...**。

www.myCFD.cn

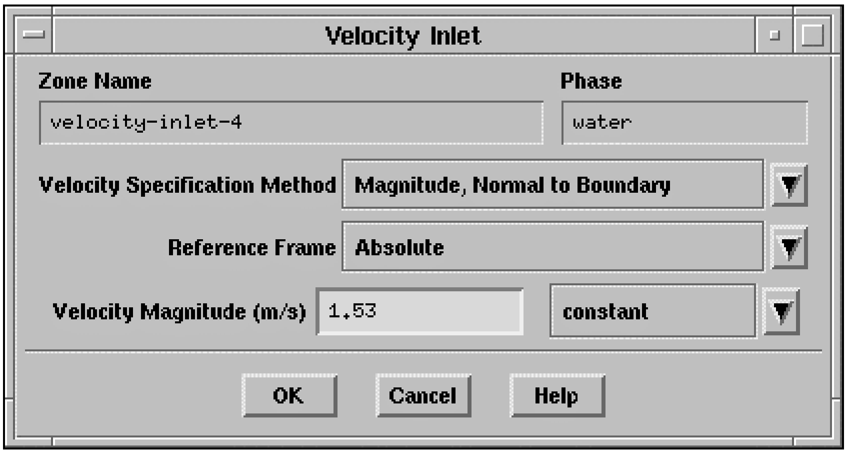


ii. 在 **Turbulence Specification Method** 的下拉列表中，选择 **Intensity and Length Scale**。

iii. 设置 **Turbulence Intensity** 成 10%，同时把 **Turbulence Length Scale** 设置成 0. 025 m。

(b)为基本相设定条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板中，从 **Phase** 的下拉列表里选择 **water**，然后点击 **Set...**。



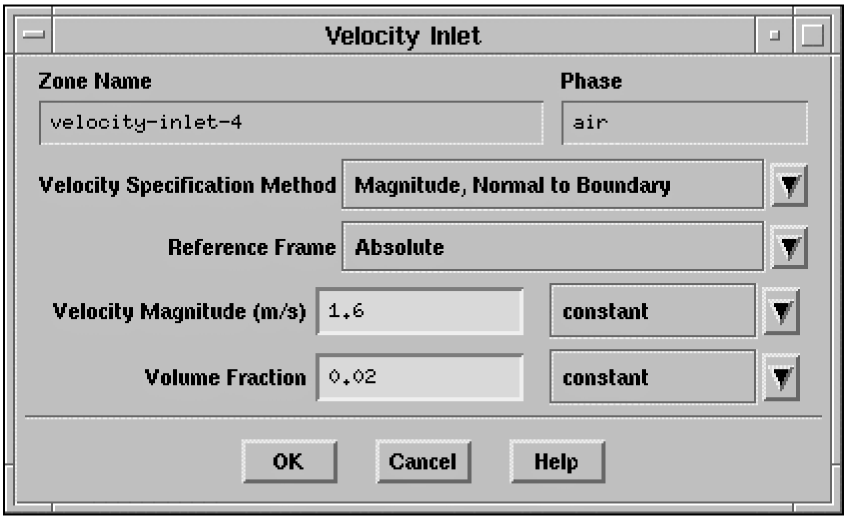
ii. 保持 **Velocity Specification Method** 和 **Reference Frame** 的默认设置不变。

iii. 设定 **Velocity Magnitude** 的值为 1.53。

(c)为第二相设定条件 。

www.myCFD.cn

i. 在 **Boundary Conditions** 面板中，从 **Phase** 的下拉列表里选择 **air**，然后点击 **Set...**。



ii. 保持 **Velocity Specification Method** 和 **Reference Frame** 的默认设置不变。

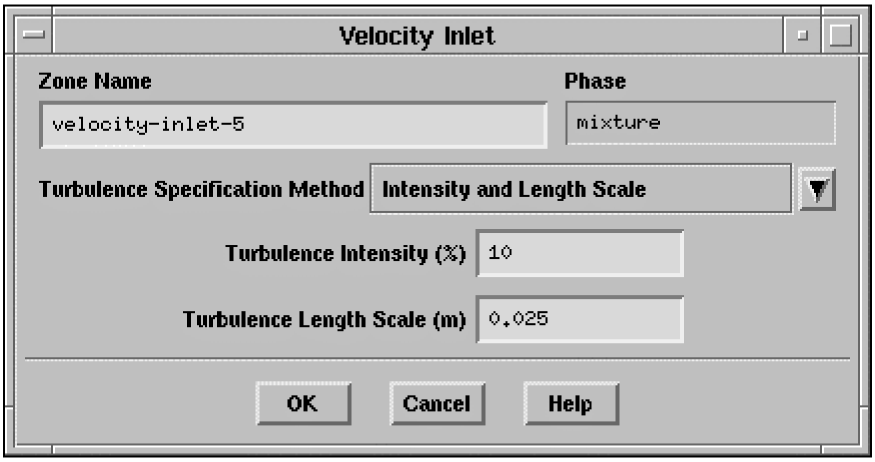
iii. 设定 **Velocity Magnitude** 为 1.6。

iv. 设定 **Volume Fraction** 为 0.02。

2. 为上部的速度入口设定条件（**velocity-inlet-5**）。

(a) 在 **velocity-inlet-5** 中为混合物设定条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板中 **Phase** 的下拉列表里选择 **mixture**，然后点击 **Set...**。



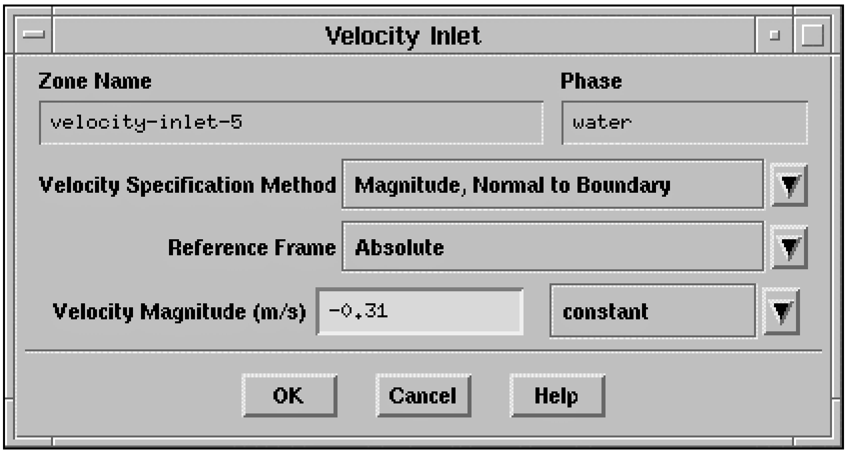
www.myCFD.cn

ii. 在 **Turbulence Specification Method** 的下拉菜单中，选择 **Intensity and Length Scale**。

iii. 把 **Turbulence Intensity** 设定为 10%，同时把设定为 0. 025 m。

(b) 为基本相设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板中，从 **Phase** 的下拉列表里选择 **water**，然后点击 **Set...**。



ii. 保持 **Velocity Specification Method** 和 **Reference Frame** 的默认设置不变。

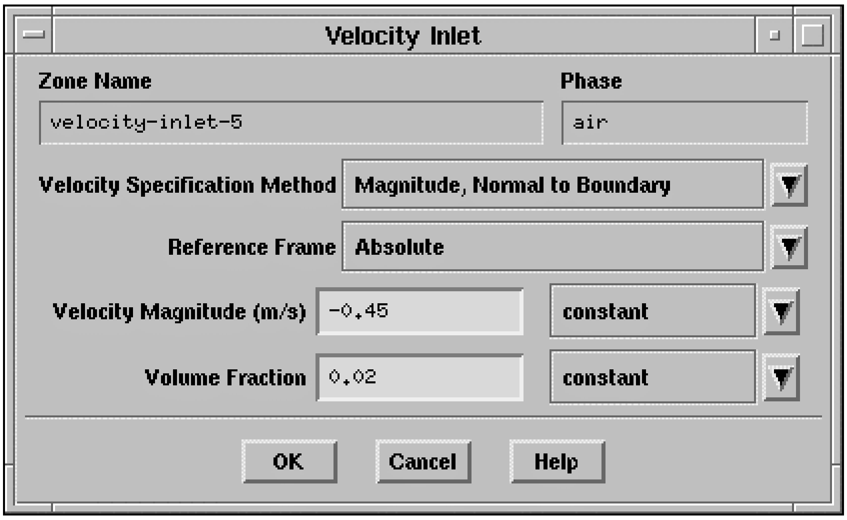
iii. 把 **Velocity Magnitude** 设定为-0.31。

在这个问题中是假定上部的速度入口的出流特性已知，因此强制设定为边界条件。

(c)为第二相设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板中，从 **Phase** 的下拉列表里选择 **air**，然后点击 **Set....**。

www.myCFD.cn



ii. 保持 **Velocity Specification Method** 和 **Reference Frame** 的默认设置不变。

iii. 把 **Velocity Magnitude** 设定为-0.45。

iv. 把 **Volume Fraction** 设定为 0.02。

3. 为压力出口设定边界条件（**pressure-outlet-3**）。

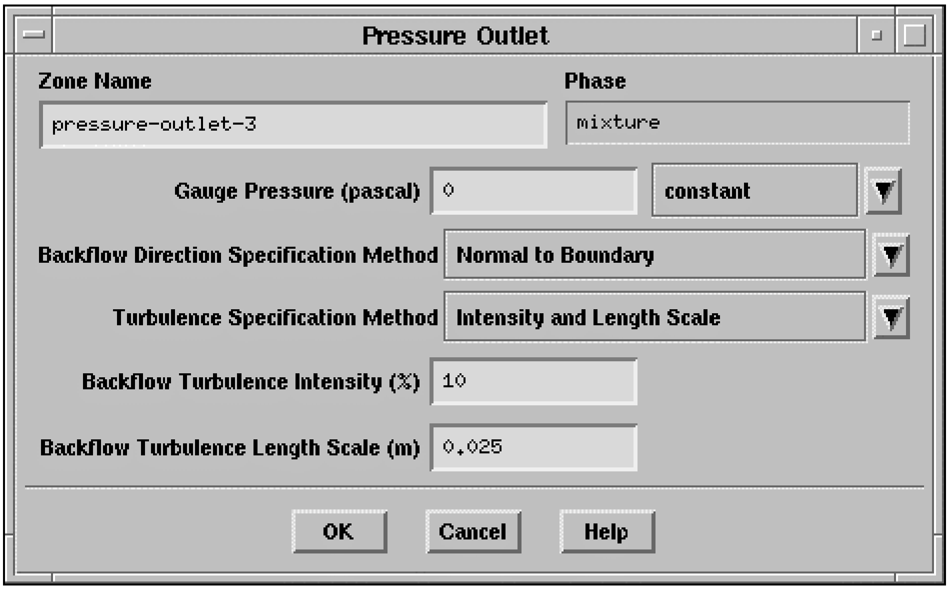
对于多相混合模型，你得在压力出口为混合物和第二相指定条件。而基本相则没有条件需要设定。

为压力出口输入的湍流条件只有在通过边界流进定义域才被使用。你可以设定它等于入口值，即把压力出口当作没有回流。但是，一般为下游的梯度值设定一个合理的值是非常重要的，这是以防万一在计算过程中某些点上会发生回流。

(a)在 **pressure-outlet-3** 中为混合物设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板中 **Phase** 的下拉列表中选择 **mixture**，然后点击 **Set...**。

www.myCFD.cn



ii. 在 **Turbulence Specification Method** 的下拉列表中，选择 **Intensity and Length Scale**。

iii. 把 **Backflow Turbulence Intensity** 设定为 10%。

iv. 把 **Backflow Turbulence Length Scale** 设定为 0.025。

(b)为第二相设定边界条件

i. 在 **Boundary Conditions** 面板中 **Phase** 的下拉列表里选择 **air**，然后点击 **Set...**。

ii. 把 **Backflow Volume Fraction** 设定为 0.02。

第 6 步：用混合物模型求解

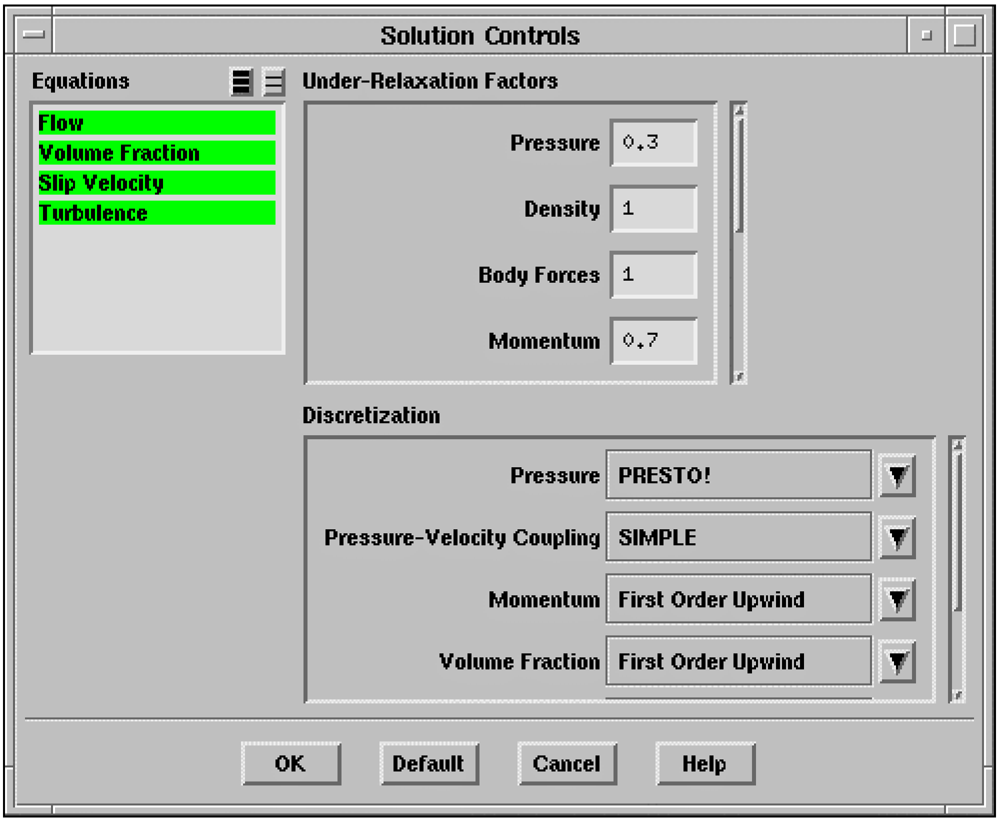
1. 设定求解参数。

Solve → **Controls** → **Solution...**

(a)保持 **Under-Relaxation Factors** 中所有的默认值不变。

(b)在 **Discretization** 下 **Pressure** 的下拉列表中选择 **PRESTO!**。

www.myCFD.cn



2. 在计算中使用残差监视器。

   Solve →Monitors →Residual...

4. 保存 case 文件（tee. cas）。

   File →Write →Case...

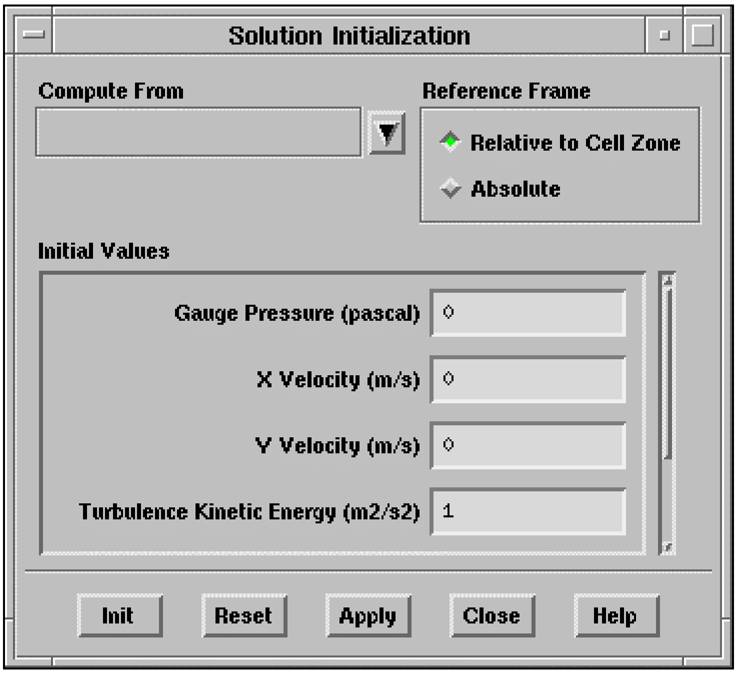
5. 开始进行 1000 次迭代计算。

   Solve →Iterate...

   在大约 600 次迭代计算后结果收敛。

6. 保存 case 文件和 data 文件（tee. cas and tee. dat）。

   File →Write →Case & Data...

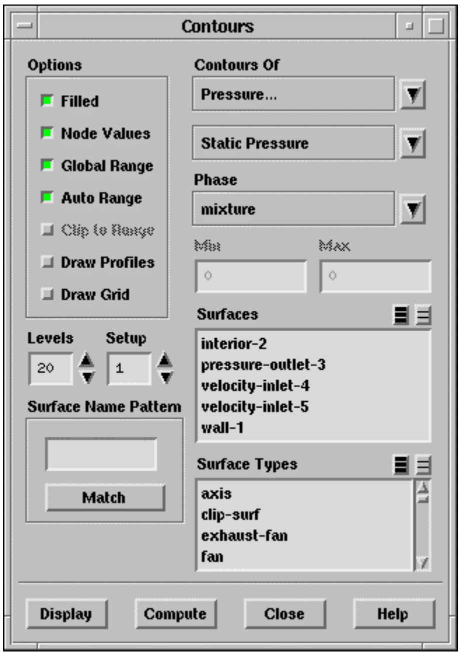


第 7 步：对混合物模型求解的后处理

1. 显示 T 型管的压力场（如图 18.3）。

   Display →Contours...

www.myCFD.cn



(a) 在 **Contours Of** 的下拉列表中选择 **Pressure...**和 **Static Pressure**。

(b) 选择 **Options** 下的 **Filled**。

(c) 点击 **Display**。

www.myCFD.cn

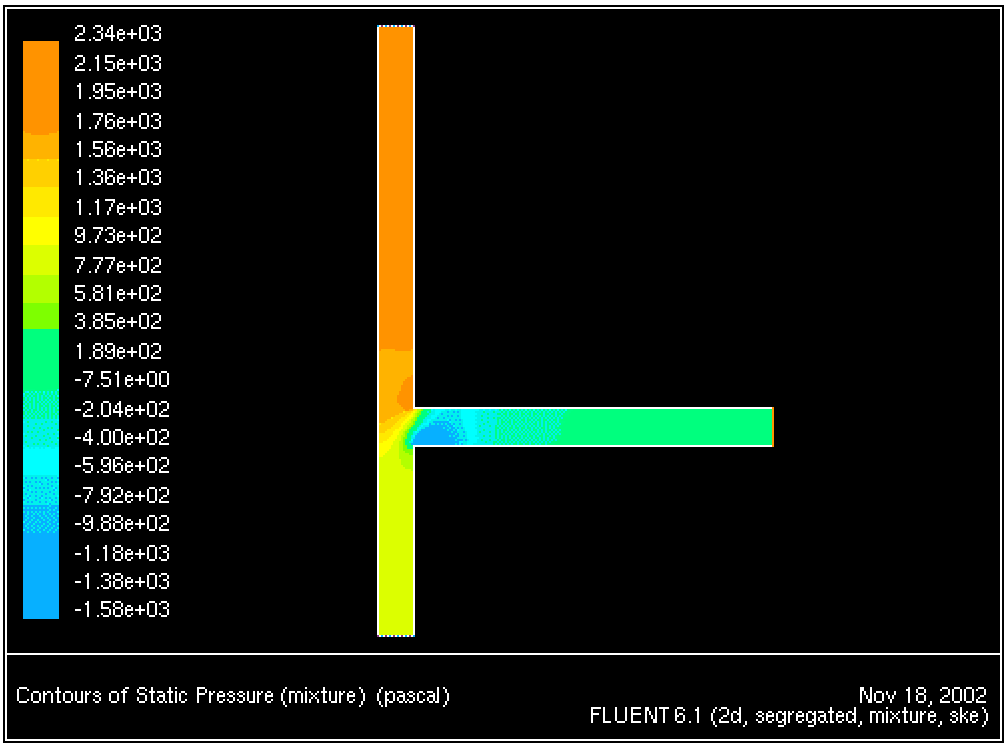


图 **18.3**：等压线图

2. 显示速度分布图（如图 18.4）。

   Display →**Contours...**

   (a) 在 **Contours Of** 的下拉列表中选择 **Velocity...**和 **Velocity Magnitude**。

   (b) 点击 **Display**。

www.myCFD.cn

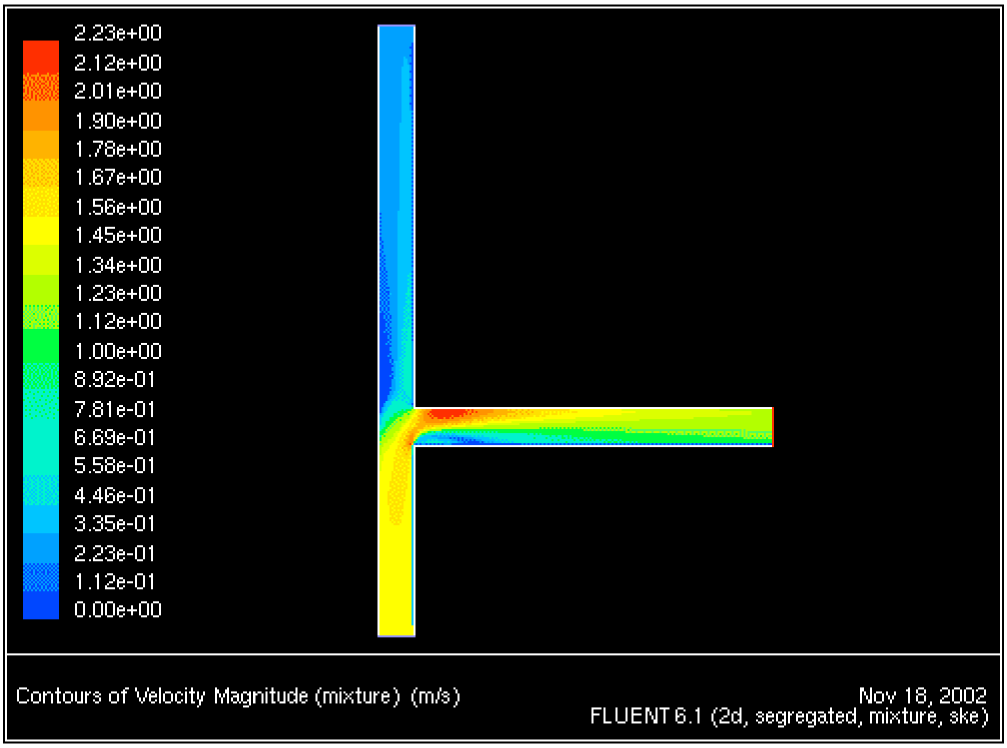


图 **18.4**：速度分布图

3. 显示空气的体积分数图（如图 18.5）。

   Display →Contours...

   (a) 在 **Contours Of** 的下拉列表中选择 **Phases...**和 **Volume fraction**。

   (b) 在 **Phases** 的下拉列表中选择 **air**。

   (c) 点击 **Display**。

www.myCFD.cn

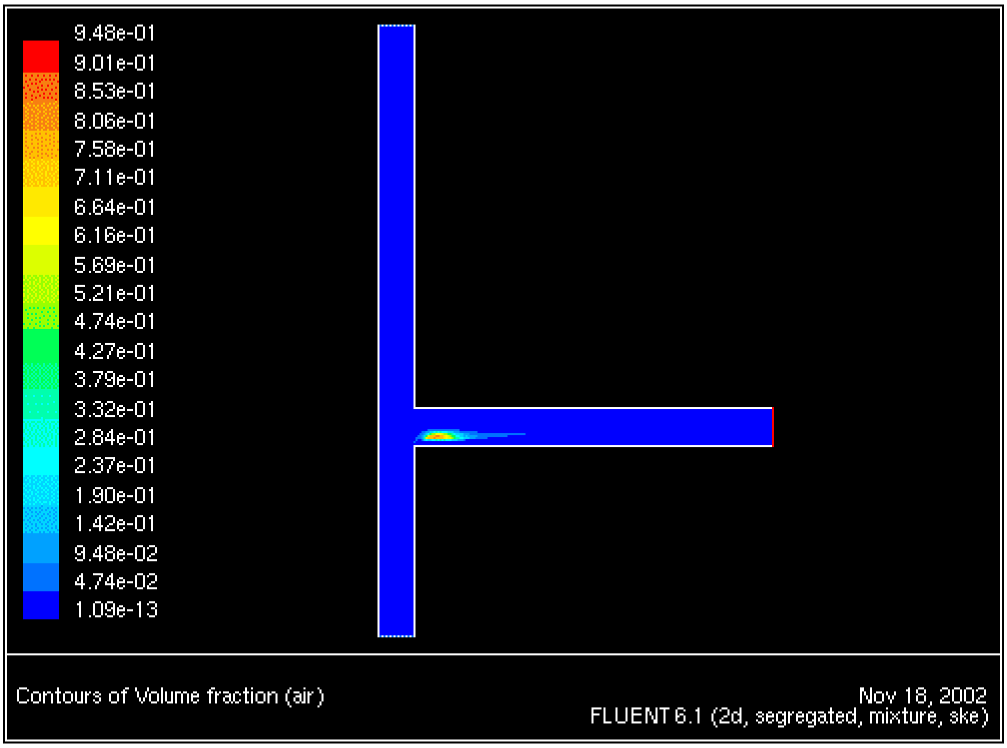


图 **18.5**：空气的体积分数图

注意在图 18.5 中 T 型接头的水平管的折角上有小空气泡分离出来，同时飘浮在水中一定区域的小气泡层会朝着压力出口流动。

第 9 步：对欧拉模型的后处理

1. 显示 T 型管的压力场（如图 18.6）。

Display →**Contours...**

www.myCFD.cn

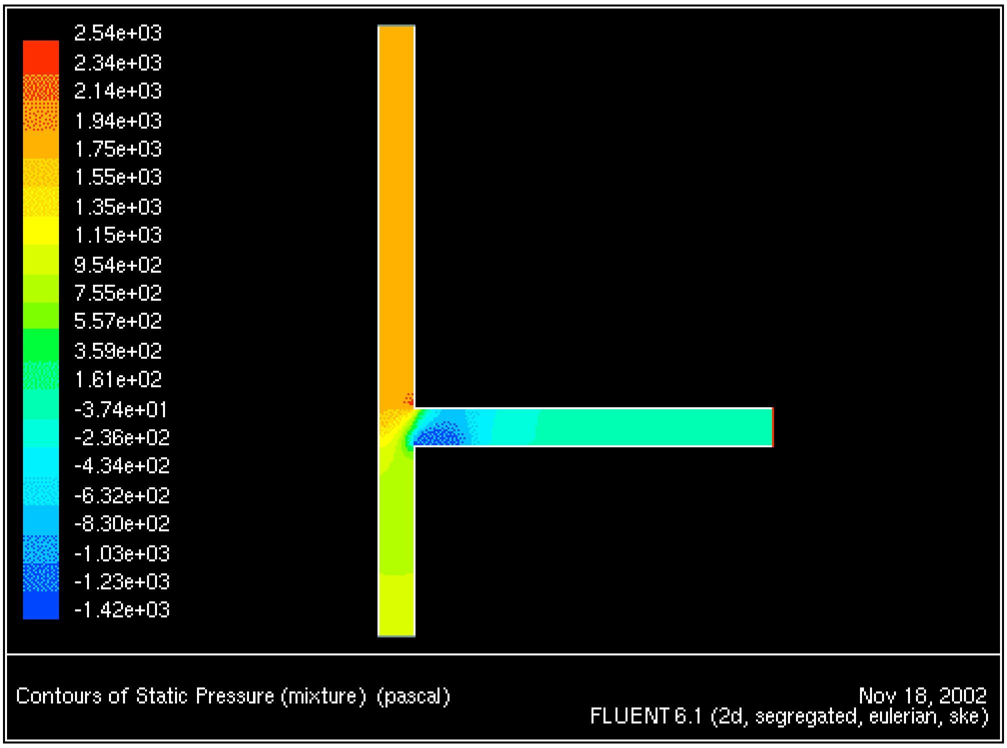


图 **18.6**：等压线图

2. 显示水的速度分布（如图 18.7）。

Display →**Contours...**

(a) 在 **Contours Of** 的下拉列表中，选择 **Velocity...**和 **water Velocity Magnitude**。

由于欧拉模型解决的是各个相的独立的方程，因此你得选择对哪个相的求解数据绘图。

(b) 点击 **Display**。

www.myCFD.cn

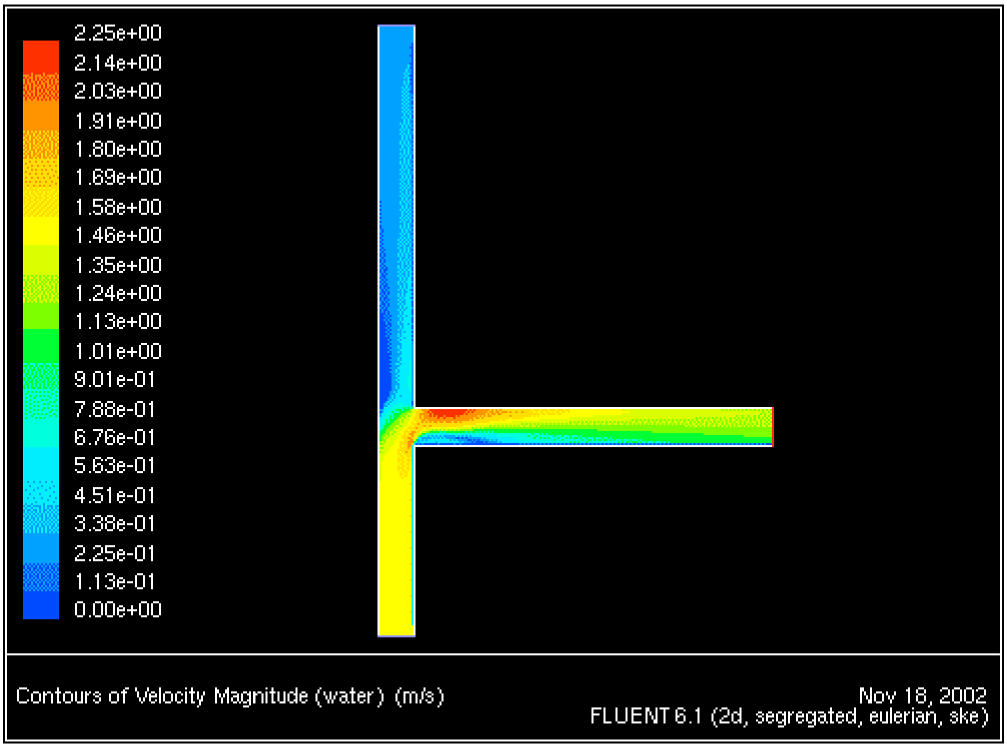


图 **18.7**：水的速度分布图

3. 显示空气的体积分数图（如图 18.8）。

Display →Contours...

www.myCFD.cn

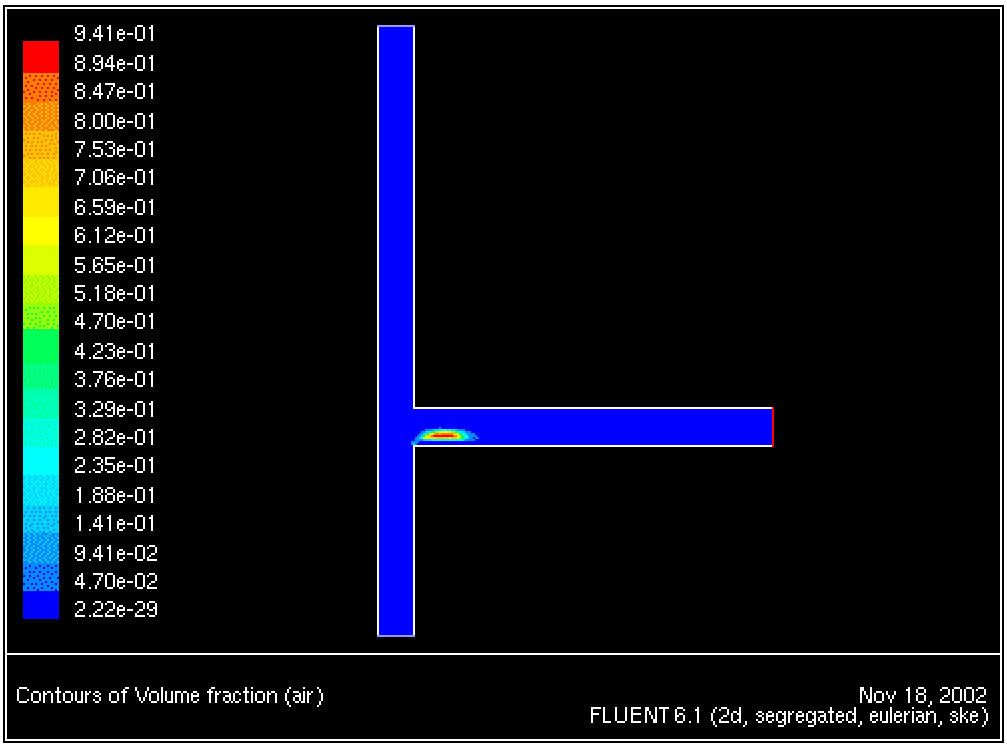


图 18.8：空气的体积分数分布图

注意在图 18.8 中 T 型接口处的气泡与用混合模型求解获得的观测(图 18.5）效果微有不同。欧拉模型一般比混合模型显示得更精确，因为它解决了为各个单独的相方程的分开设定，这胜于模拟两相之间的滑流速度。关于混合模型和欧拉模型的更详细的信息请看用户指南第 22 章。

概要

这个算例示范了如何用混合模型与欧拉模型提出和解决多相问题。你会学会怎样为混合物和两相设置边界条件，以及用混合模型获得的解来作为用欧拉模型计算的起点。在完成用两种模型计算后，再拿用两种方法获得的结果进行比较。

www.myCFD.cn

算例 21　使用欧拉多相粒子传热模型

引言

这个算例是检查在统一的最小流化条件下，高温废气流化床中空气和一种由小玻璃珠子组成的固相颗粒的流动情况。最后，将用在 FLUENT 中获得的炉床与炉墙之间的局部热传递系数与分析得到的结果进行比较。

在这算例中你将学会以下方法：

1. 使用欧拉粒子模型。
2. 为内部流动设定边界条件。
3. 用自定义函数（UDP）去指定一个速度入口剖面状态的细节。
4. 使用分解求解器求解。
5. 用获得的结果与分析的结果比较。

前提条件

在做这个算例时，就假定你已熟悉 FLUENT 的列表结构，同时已经阅读并解决了算例 1。因此下面算例中的一些步骤和解决的过程将不再明确地说明。

问题描述

主要描述的是一个高温废气流化床中空气通过底部区域和一个靠近受热面的小孔向上流动的问题，对于这个问题，有一个均一的流化床被检验，用它来与分析结果作比较。问题所描述的几何体和所要用到的数据如图 21.1 所示：

www.myCFD.cn

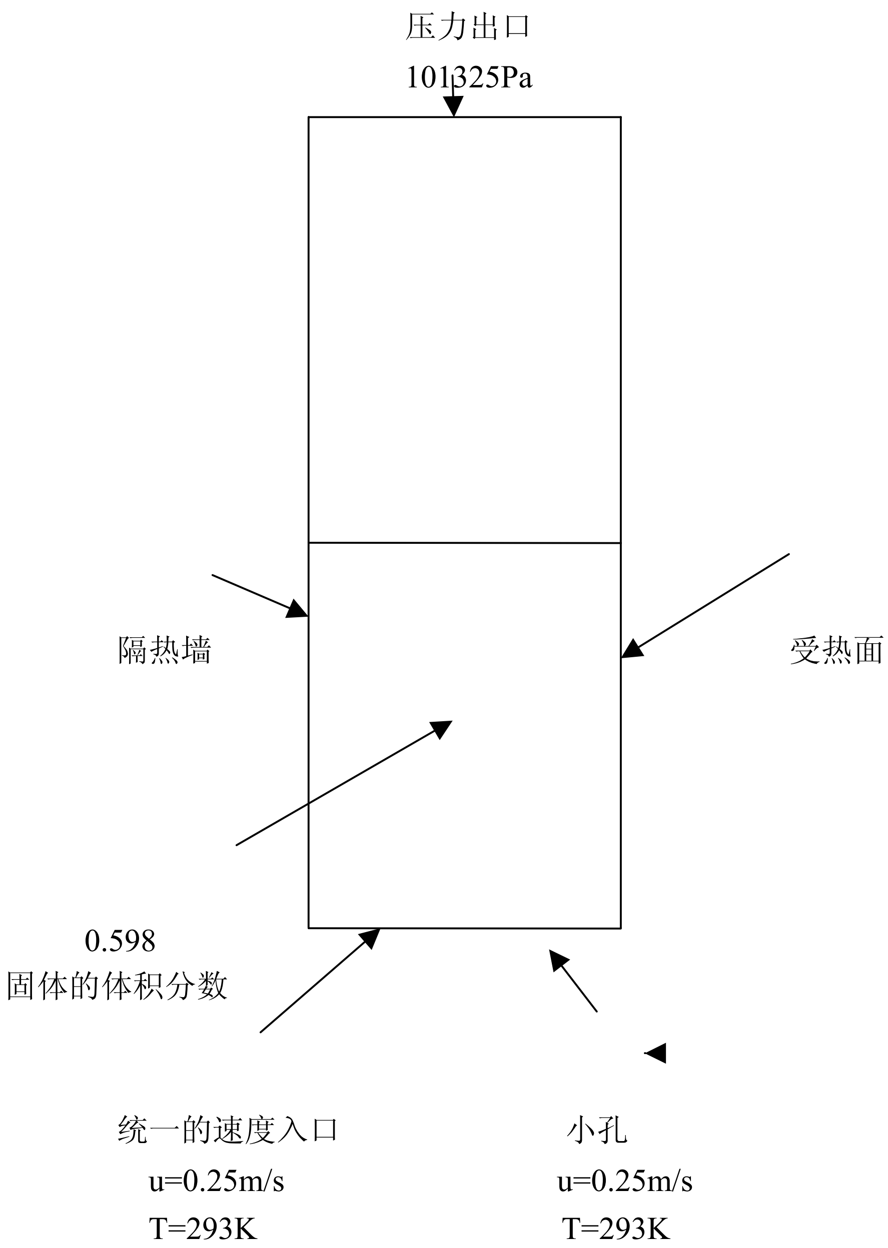


图 21.1：问题的详细说明图

www.myCFD.cn

准备工作

1. 把 fluid-bed/fluid-bed.msh 和 fluid-bed/gasvel.c 文件从 FLUENT 的 CD 文件拷贝到你的工作目录下（和算例 1 描述的一样）。
2. 启动 FLUENT 的 2D 双精度求解器。

第 1 步：与网格相关的操作

1. 读入网格文件（fluid-bed.msh）.

   File →Read →Case..

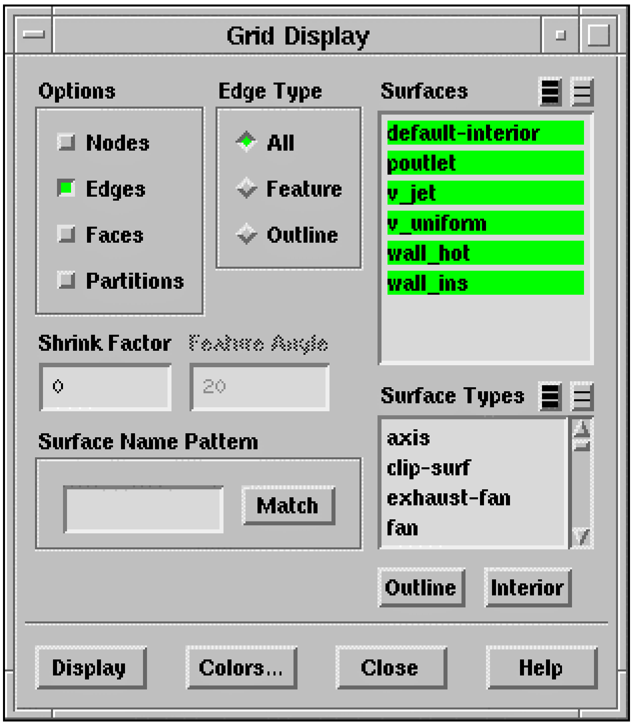
   当 FLUENT 读取网格文件时，它将在信息反馈窗口中显示其读入信息。
2. 检查网格

   Grid →Check

   FLUENT 将对网格执行各种检查并在信息反馈窗口中显示信息。特别要注意显示的最小体积的大小，确保它是一个正数，否则 FLUENT 无法进行计算。
3. 显示网格

   Display →Grid...

www.myCFD.cn



(a) 使用默认设定显示网格（如图 21.2）

www.myCFD.cn

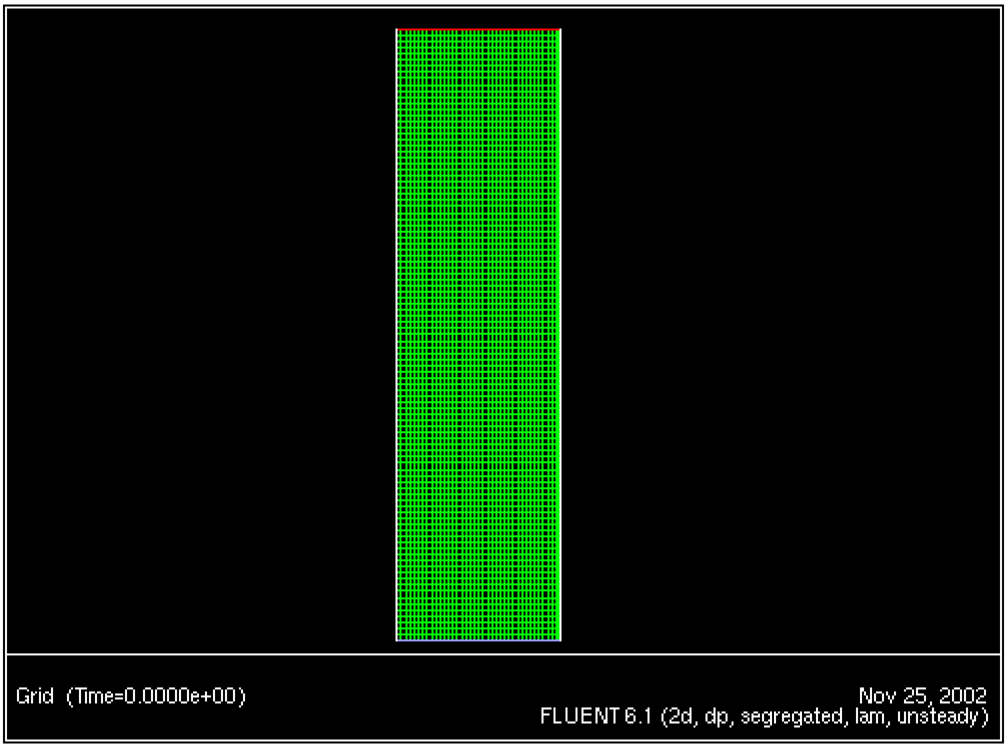


图 21.2：流化床的网格

另外：

你可以使用鼠标右键去检查每条边界线的区号，如果你用鼠标右键点击图形窗口中的某一条边界线，它的区号，名称和类型将在 FLUENT 的信息反馈窗口中显示出来。当你有几个相同类型的边界而又想要把它们快速区分出来时，这个功能特别有用。

第 2 步：建立求解模型

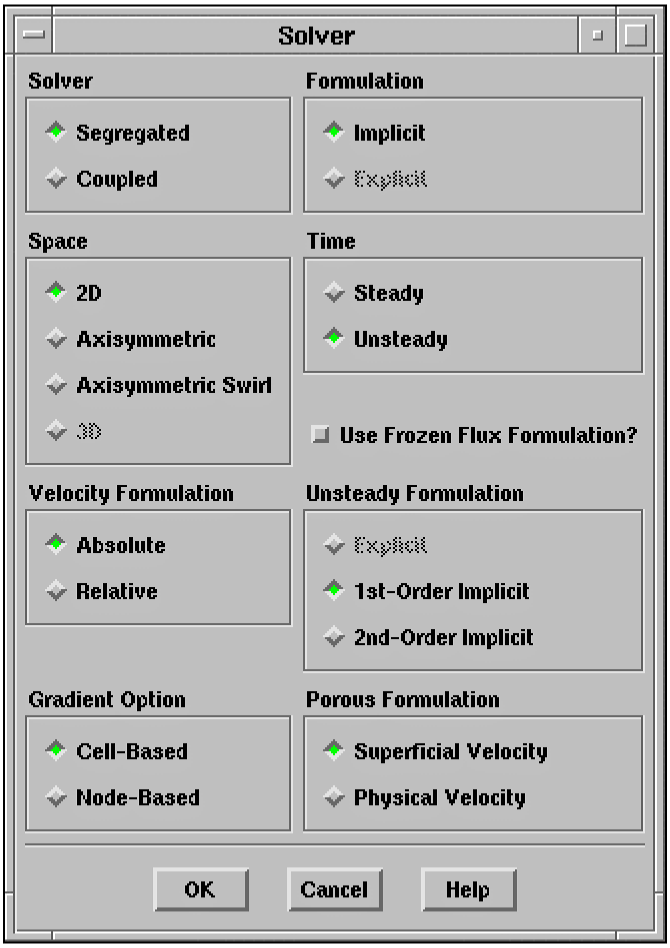
1. 保留 2D 非定常分解求解器的默认设定不变。

   分解求解器必须用来计算多相流。

   Define → Models → Solver...

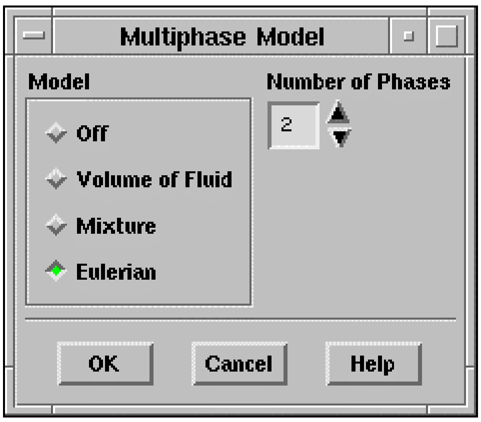
   (a) 在 **Time** 下，选择 **Unsteady**.

www.myCFD.cn



2. 在欧拉多相模型中把相的数目赋值为两相。

Define →Models →Multiphase...



www.myCFD.cn

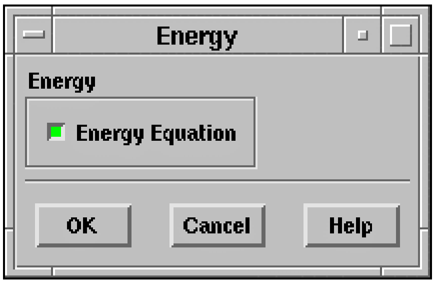
(a) 选择 **Eulerian** 作为 **Model**.

(b) 在以上对话框中点击 **OK**。

虽然在这个问题中使用欧拉多相模型应用于热传递，但是在多相模型面板中却没有进一步输入必要的条件。故将在下一步中设定固相和热传递的条件。

3. 选择能量方程（即选中 **Energy Equation**）

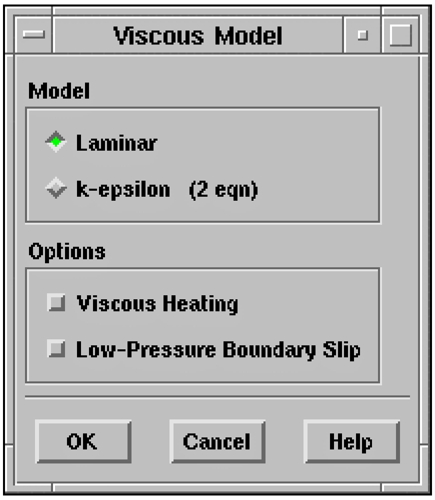
Define →Models →Energy...



4. 保留默认的层状模型。

实验表明在真实模型的流场中可以忽略三维影响，也就是说流体只有非常弱的扰动。

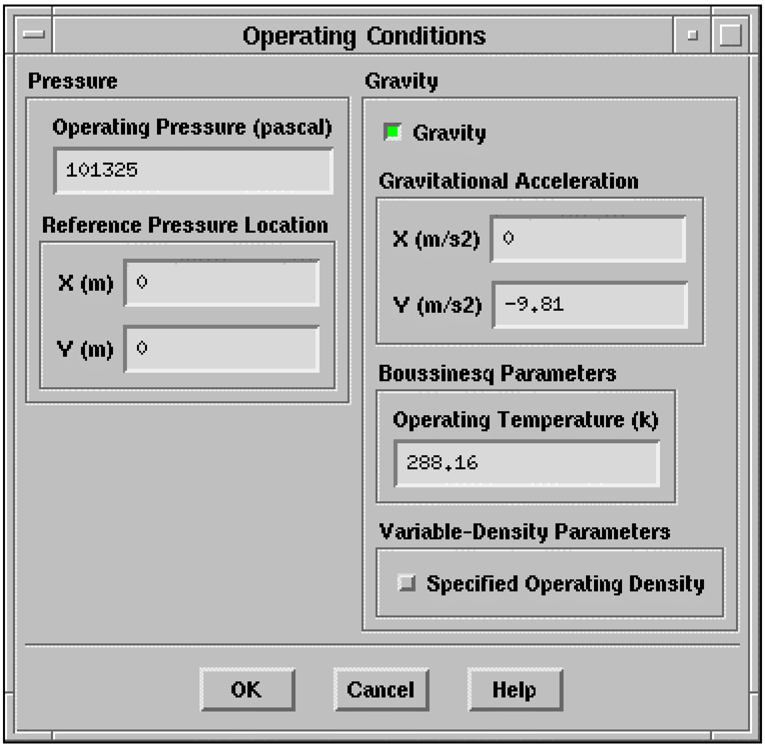
Define →Models →Viscous...



5. 设定重力加速度。

Define →Operating Conditions...

www.myCFD.cn



(a) 开启 **Gravity**。

面板将扩展开来，显示另外的输入栏。

(b) 在 **Gravitational Acceleration** 下的 **Y** 方向栏中输入-9. 81 m/s^2.

第 3 步：设定流体材料。

1.读入和编辑自定义函数。

Define →User-Defined →Functions →Compiled...

（a）在 **Source Files** 下点击 **Add…**

这时一个 **Select File** 面板将会打开。

（b） 在 **Select File** 面板里，选择源代码 **gasvel.c**,它包括了你将需要用来运行这个算例的所有的自定义 **macros**，然后点击 OK。

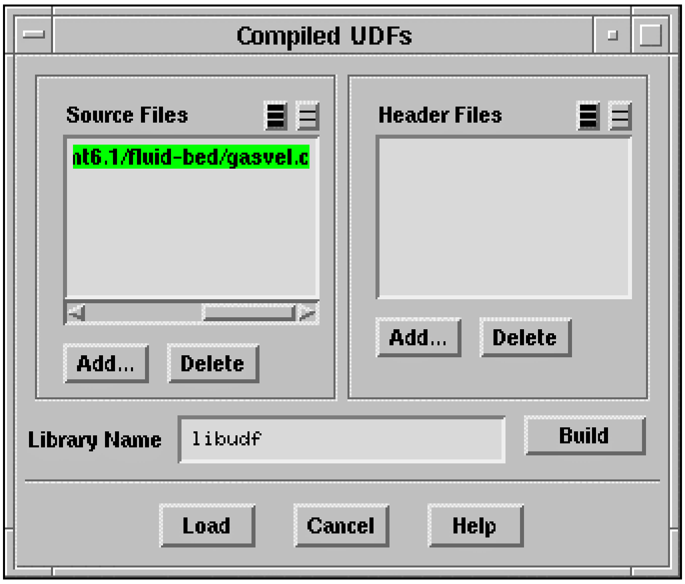
（c） 在 **Compiled UDFs** 面板里， 点击 **Build.**

FLUENT 将建立一个 libudf 目录，同时编译 UDF。

www.myCFD.cn

（d） 在对话框中点击 **OK** 将出现一个面板。

（e）点击 **Load**，打开目录，再导入 UDF。



2. 修改空气的参数，它将被用来作为基本相。

   Kuipers 等人通过修改空气的参数来匹配数据的使用。

   Define →**Materials...**

   (a) 在 **Density** 输入 1.2。

   (b) 在 **CP** 输入 994。

   (c) 在 **Thermal Conductivity**（导热系数）的下拉列表中选择 **user-defined**。

   User Defined Functions 面板将自动打开。

   (d) 在自定义功能面板，选择 **conduct_gas** ，然后点击 **OK**。

   (e) 点击 **Change/Create**.

3. 定义一种新的流动材料作为固相（小玻璃珠）。

   (a) 在 **Name** 栏填入 **solids**。

   (b) 指定 **Density** 为 2660。

   (c) 指定 **Cp** 为 737。

   (d) 保持 **Thermal Conductivity** 的下拉列表中的当前选择为 **user-defined**，同时点击 **Edit...**。

   (e) 在 **User Defined Functions** 面板里选择 **conduct_solid** ，然后点击

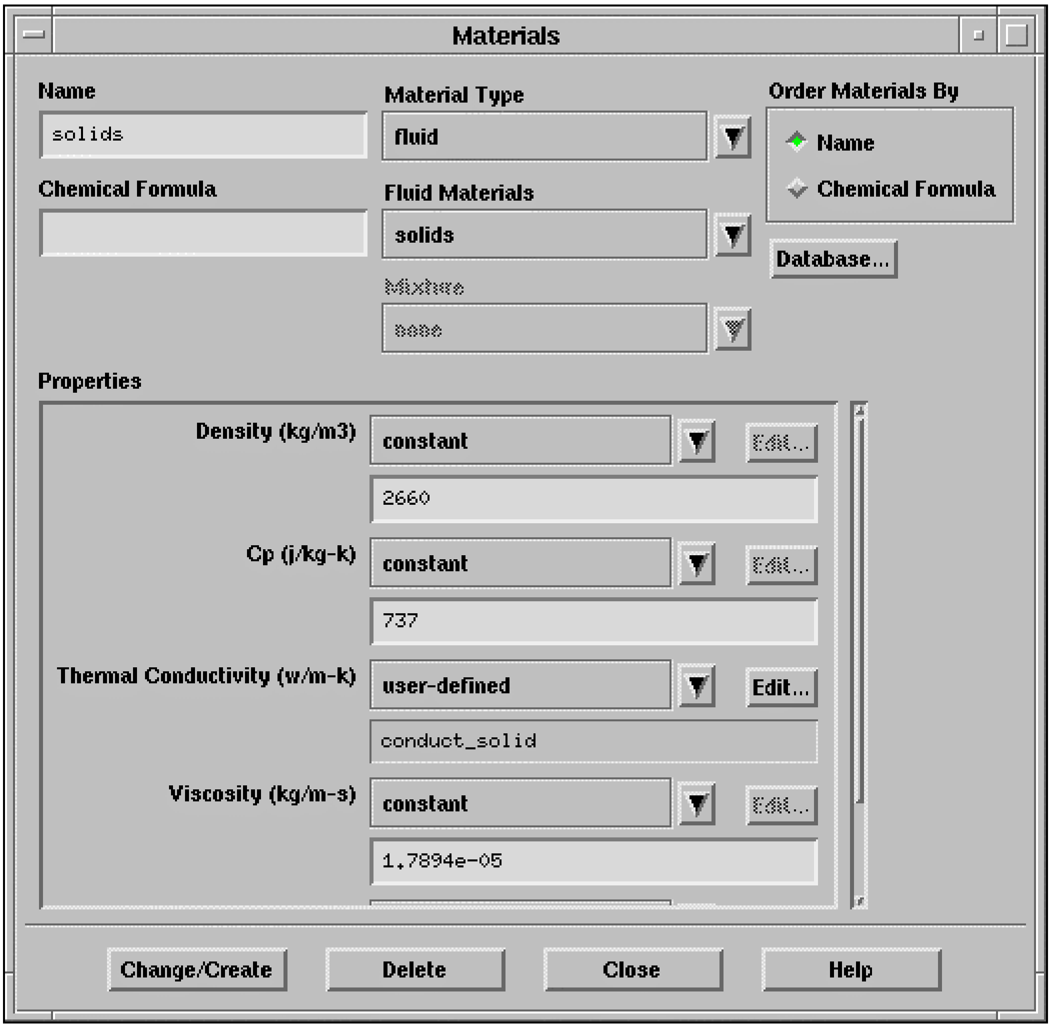
www.myCFD.cn

OK。

(f) 在问你是否想要覆盖 **air** 的对话框中点击 **NO**。

(g) 在 **Fluid Materials** 旁的列表中选择 **solids**。

(h) 点击 **Change/Create**。



第 4 步：设定相

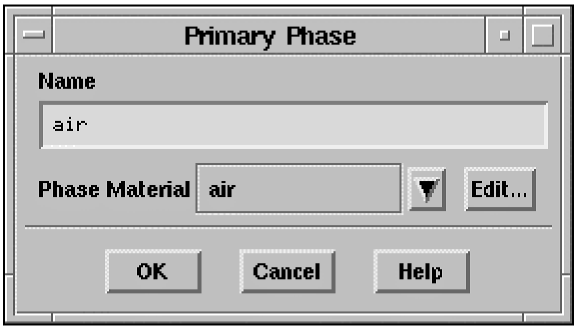
1. 定义存在于流化床中的气相和固相。

   Define →Phases...

www.myCFD.cn

(a) 指定空气作为基本相。

i. 选择 **phase-1** 然后点击 **set…**按钮。



ii. 在 **Primary Phase** 面板里，在 **Nam**e 对应的输入栏中键入 air。

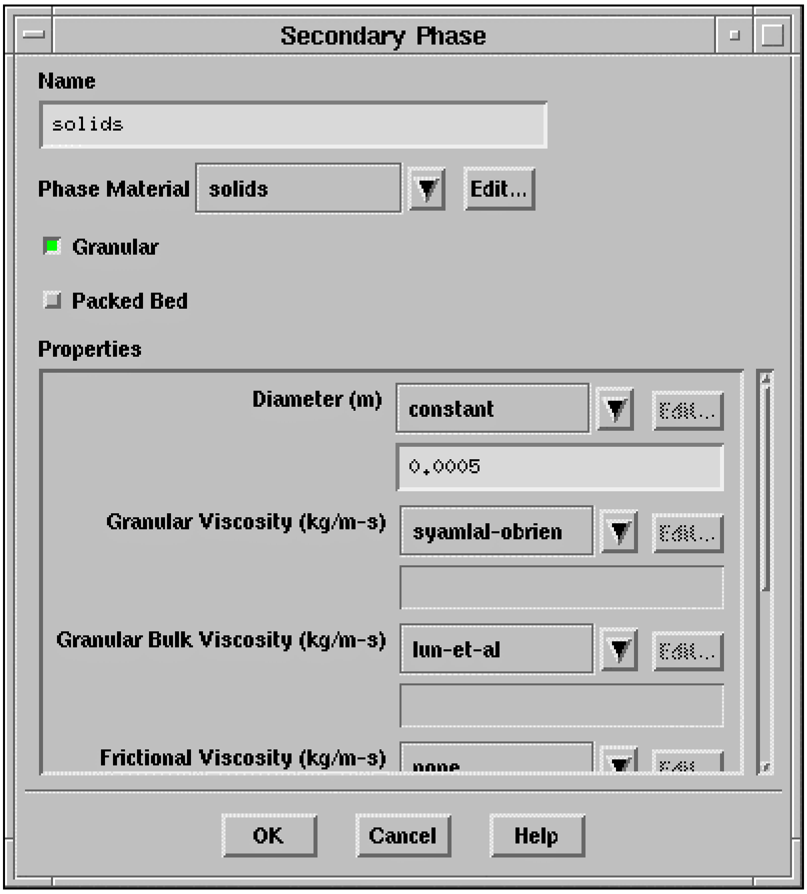
iii. 在 **Phase Material** 的下拉列表中，选择 **air**。

iv. 点击 **OK**。

(b) 指定小玻璃珠作为第二相。

i. 选择 **phase-2**，再点击 **Set...**按钮。

www.myCFD.cn



ii. 选择 **Secondary Phase** 面板，在 **Name** 栏输入 solids。

iii. 在 **Phase Material** 的下拉列表中选择 **solids**。

iv. 开启 **Granular** 选项。

v. 设定 **Diameter** 为 0.0005 **m**。

vi. 在 **Granular Viscosity** 的下拉列表中，选择 **syamlal-obrien**。

vii. 在 **Granular Bulk Viscosity** 的下拉列表中，选择 **lun-et-al**。

viii. 在 **Granular Conductivity** 下拉列表中，选择 **syamlal-obrien**。

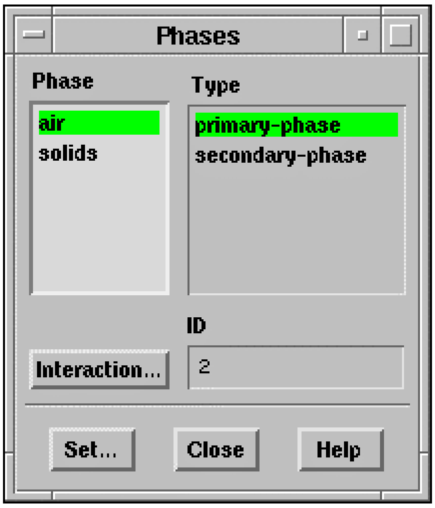
提示：

你必须把 **Properties**（性质）表旁的小块往下拉才能改变其中一些隐藏项的性质的设定。

Ix. 点击 OK 。

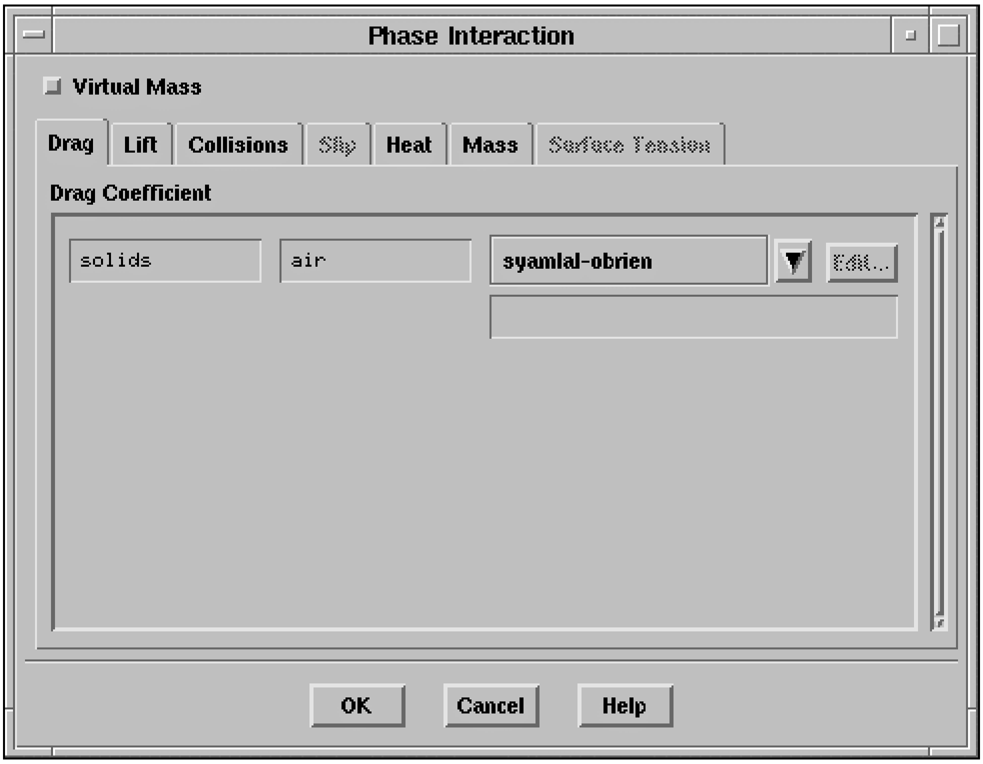
这样，**Phases** 面板就被修正了。

www.myCFD.cn



2. 核对混合相的相互作用公已式被使用。

(a) 在 **Phases** 面板中，点击 **Interaction...**按钮。



(b) 在 **Drag Coefficient** 的下拉列表中，选择 **syamlal-obrien** 。

(c) 点击 **Heat** 图标，在 **Heat Transfer Coefficient** 的下拉列表中，选择

www.myCFD.cn

gunn 。

对于这个问题，你将用一个阻力系数，默认值为 0.9 的颗粒间碰撞的递归系数和一个传热系数来模拟相间的热交换。在这个问题中与固相没有什么关系，事实上也很少使用。

(d) 点击 **OK**。

第 5 步：设定边界条件

对这个问题，你需要为所有的边界设定边界条件。

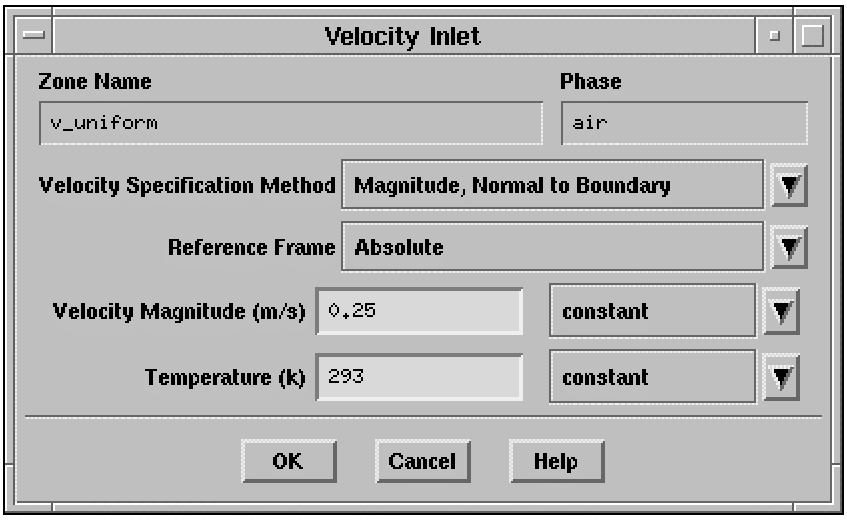
Define → Boundary Conditions...

1. 为低速度入口设定边界条件（**v_uniform**）。

对于 Eulerian 多相模型，你必须详细说明速度入口的条件，特别得指明基本相和第二相。

(a) 在 **v_uniform** 下为基本相设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板里，从 **Phase** 的下拉列表中选择 **air**，同时点击 **Set...**。



ii. 保持默认的 **Velocity Specification Method** 和 **Reference Frame** 选项。

iii. 设定 **Velocity Magnitude** 为 0.25。

www.myCFD.cn

iv. 设定 **Temperature** 为 293。

v. 点击 **OK**。

(b)在 **v_uniform** 中为第二相设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板中，从 **Phase** 的下拉列表里选择 **solids**，同时点击 **Set...**。

ii. 保持默认的 **Velocity Specification Method** 和 **Reference Frame** 选项。

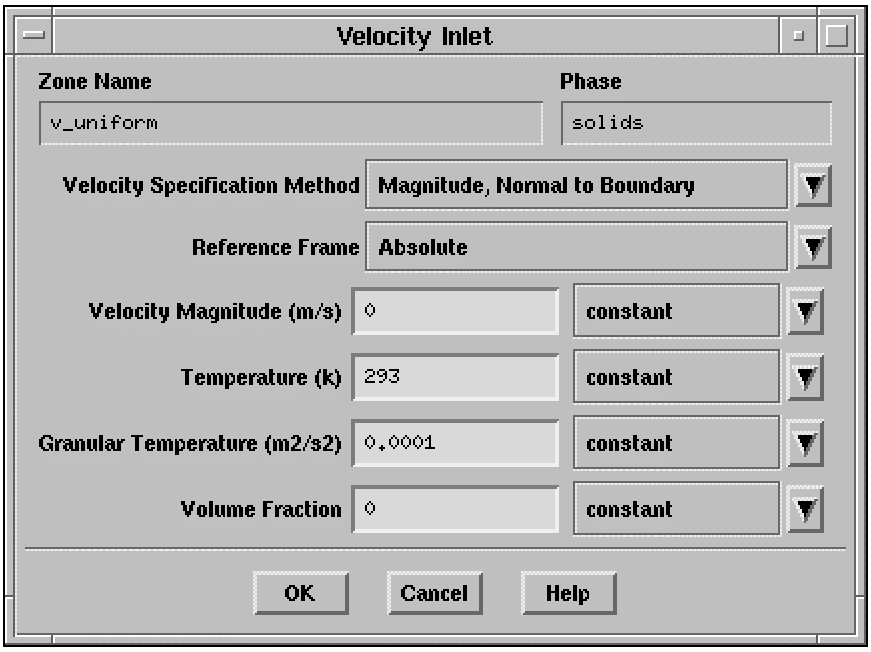
iii. 保持 **Velocity Magnitude** 的默认值为 0。

iv. 设定 **Temperature** 为 293。

v.设定 **Granular Temperature** 为 0.0001。

vi. 保持 **Volume Fraction** 的默认值为 0。

vii. 点击 **OK**。

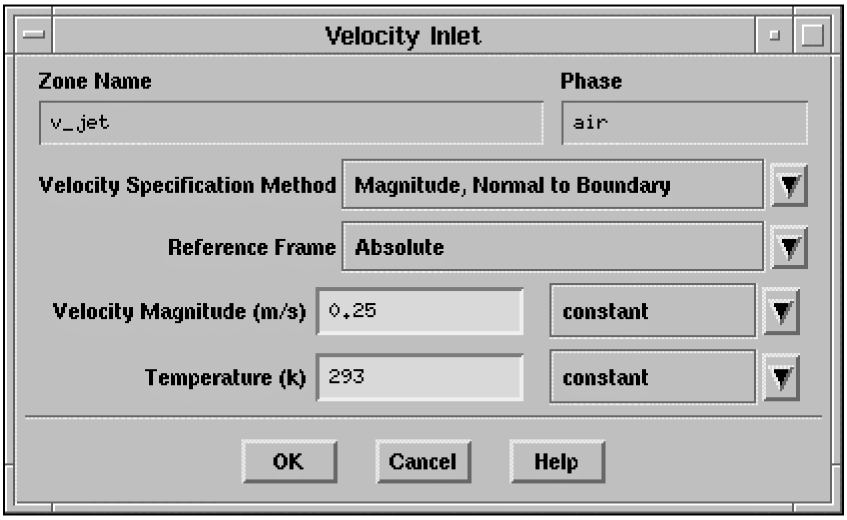


2. 为小孔的速度入口设定边界条件(**v_jet**)。

(a)在 **v_jet** 下为基本相设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板中，从 **Phase** 的下拉列表里选择 **air**，同时点击 **Set...**。

www.myCFD.cn



ii. 保持默认的 **Velocity Specification Method** 和 **Reference Frame** 选择。

iii. 设定 **Velocity Magnitude** 为 0.25。

为了使得与分析结果的比较有意义，在这个模拟计算中你给流化床的底部的两个入口的空气速度一个统一的值，这个值等于最小流化速度。

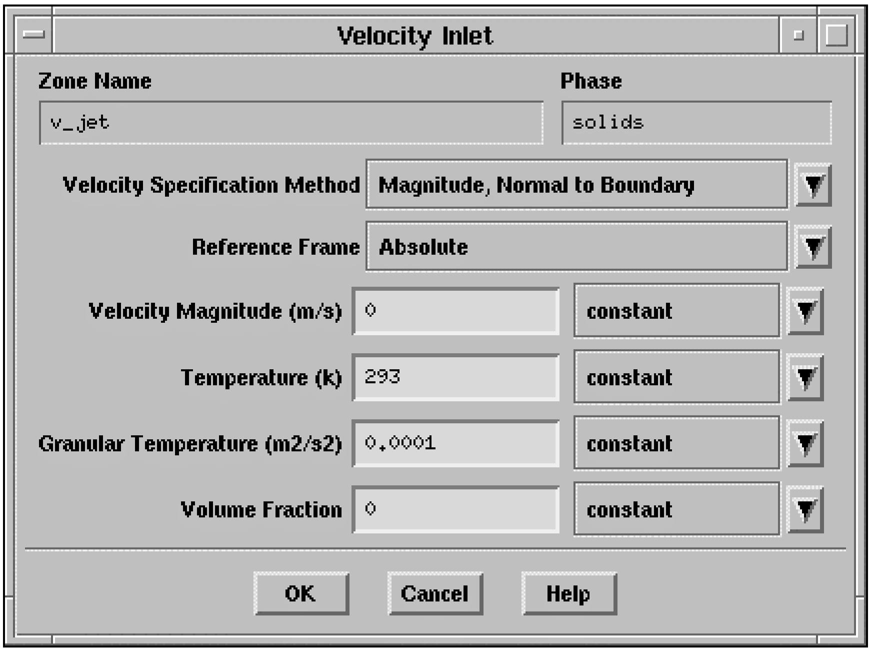
iv. 设定 **Temperature** 为 293。

v. 点击 **OK**。

(a) 在 **v_jet** 中为第二相设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板中，从相 **Phase** 的下拉列表里选择 **solids**，同时点击 **Set...**。

www.myCFD.cn



ii. 保持默认的 **Velocity Specification Method** 和 **Reference Frame** 选项。

iii. 保持 **Velocity Magnitude** 的默认值为 0。

iv. 设定 **Temperature** 为 293。

v. 设定 **Granular Temperature** 为 0.0001。

vi. 保持 **Volume Fraction** 的默认值为 0。

vii. 点击 **OK**。

3. 为压力出口设定边界条件(**poutlet**)。

对于 Eulerian 粒相模型，你需要详细说明压力出口的混合物和两个相的条件。

压力出口的热量条件只有在通过这个边界流进某一区域时才使用。你可以把它设定成等于入口值，因为一般认为压力出口没有回流。但是，为下游的这些数值设定一个合理的值是非常重要的，这是以防万一在计算中某些地方会出现回流。

(a) 在 **poutlet** 中为混合物设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板里，从 **Phase** 的下拉列表中选择 **mixture**，同时点击 **Set...**。

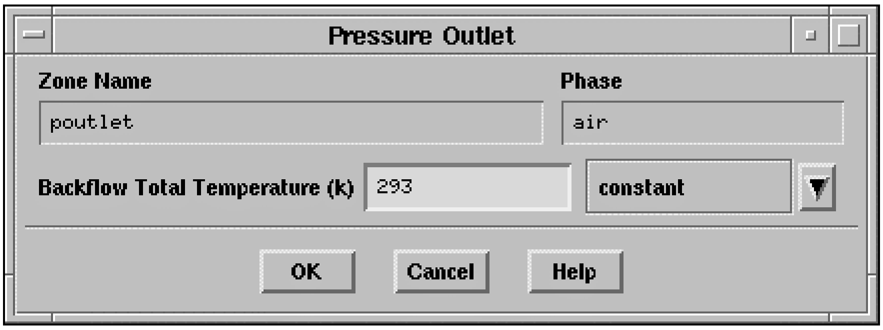
www.myCFD.cn

ii. 保持 **Gauge Pressure** 的默认值为 0。

iii. 点击 **OK**。

(b) 为基本相设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板里，从 **Phase** 的下拉列表中选择 **air**，同时点击 **Set...**。

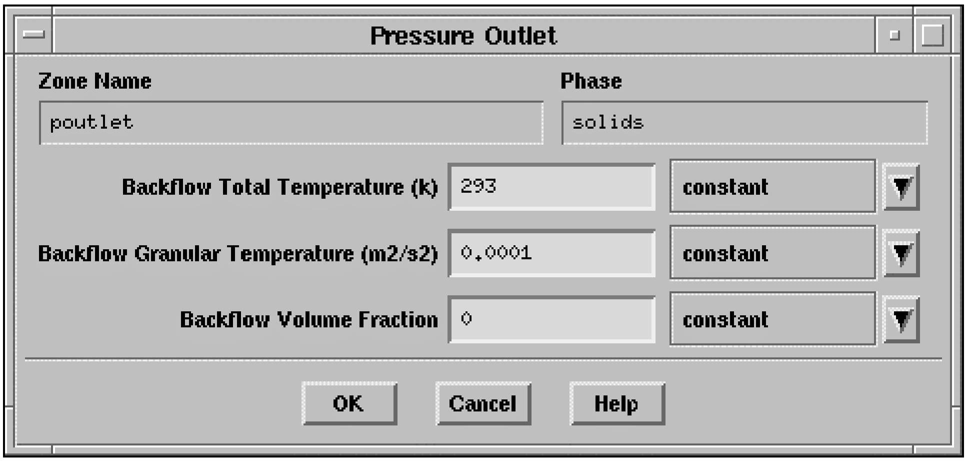


ii. 设定 **Backflow Total Temperature** 为 293。

iii. 点击 **OK**。

(c) 为第二相设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板里，从 **Phase** 的下拉列表中选择 **solids**，同时点击 **Set...**。



ii. 设定 **Backflow Total Temperature** 为 293。

iii. 设定 **Backflow Granular Temperature** 为 0.0001

iv. 设定 **Backflow Volume Fraction** 为 0。

www.myCFD.cn

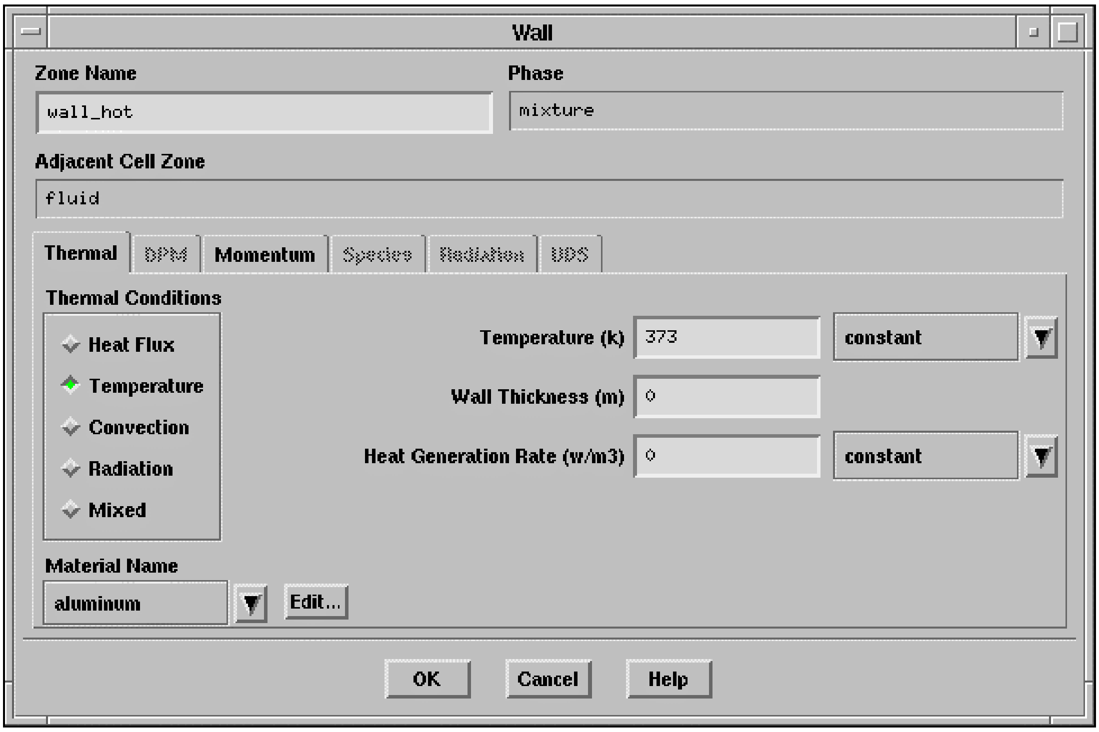
v. 点击 **OK**。

4. 为受热面（**wall_hot**）设定边界条件。

对于受热面，你需要为混合物设定热量条件以及两个相的动力条件（零剪应力）。

(a)为混合物设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板里，从 **Phase** 的下拉列表中选择 **mixture**，同时点击 **Set...**。



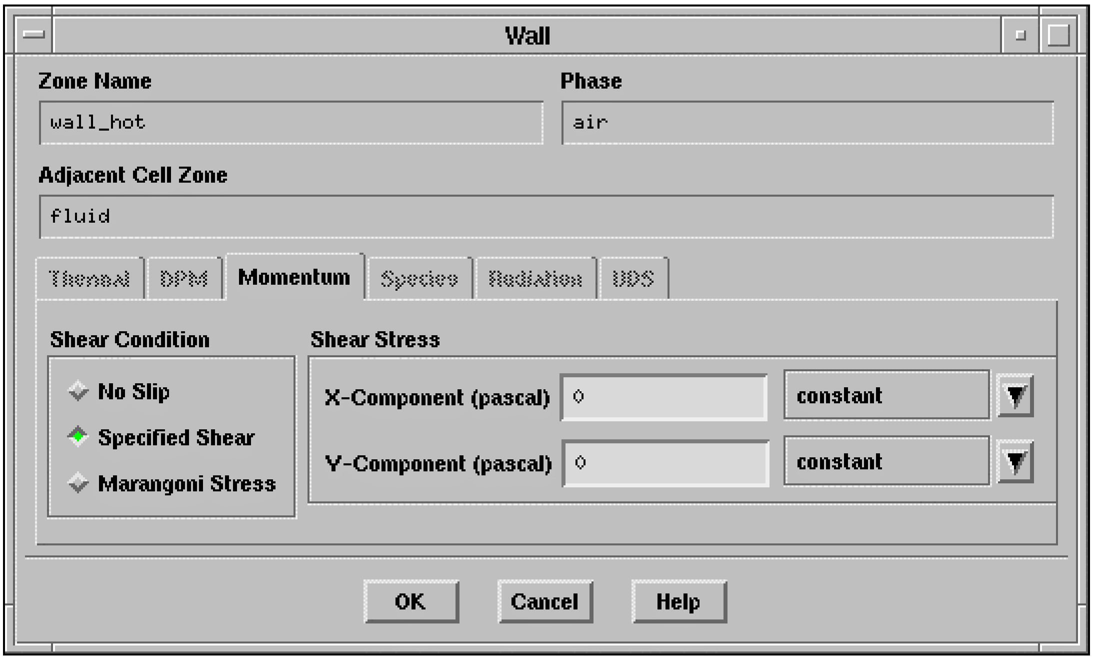
ii. 选择 **Thermal Conditions** 下的 **Temperature** 选项，然后在 **Temperature** 栏中输入 373。

iii. 点击 **OK**。

(b) 为基本相设定边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板里，从 **Phase** 的下拉列表中选择 **air**，同时点击 **Set...**。

www.myCFD.cn



ii. 点击 **Momentum** 图标。

iii. 选择 **Shear Condition**（注：会展开一个面板）下的 **Specified Shear** 选项，同时保留 **X-Component** 和 **Y-Component** 的默认值为 0。

(c) 设定第二相的边界条件。

对于第二相，你得设定与基本相相同的零剪应力条件。

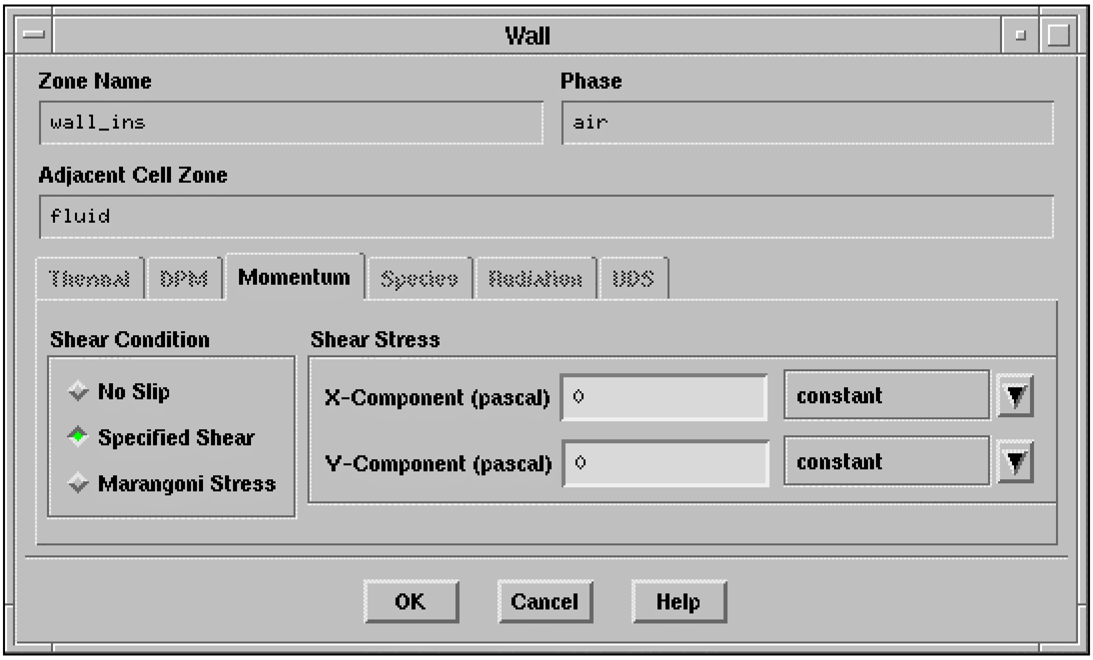
5. 为隔热墙（**wall_ins**）设定边界条件。

对隔热墙，你得保持混合物的默认热量条件（零热通量），同时为两种相设定相同的动力条件（零剪应力）。

(a) 设定基本相的边界条件。

i. 在 **Boundary Conditions** 面板里，从 **Phase** 的下拉列表中选择 **air**，同时点击 **Set...**。

www.myCFD.cn



ii. 选择 **Shear Condition**（注：会展开一个面板）下的 **Specified Shear**，同时保持 **X-Component** 和 **Y-Component** 的默认值为 0。

iii. 点击 **OK**。

(b) 为第二相设定边界条件。

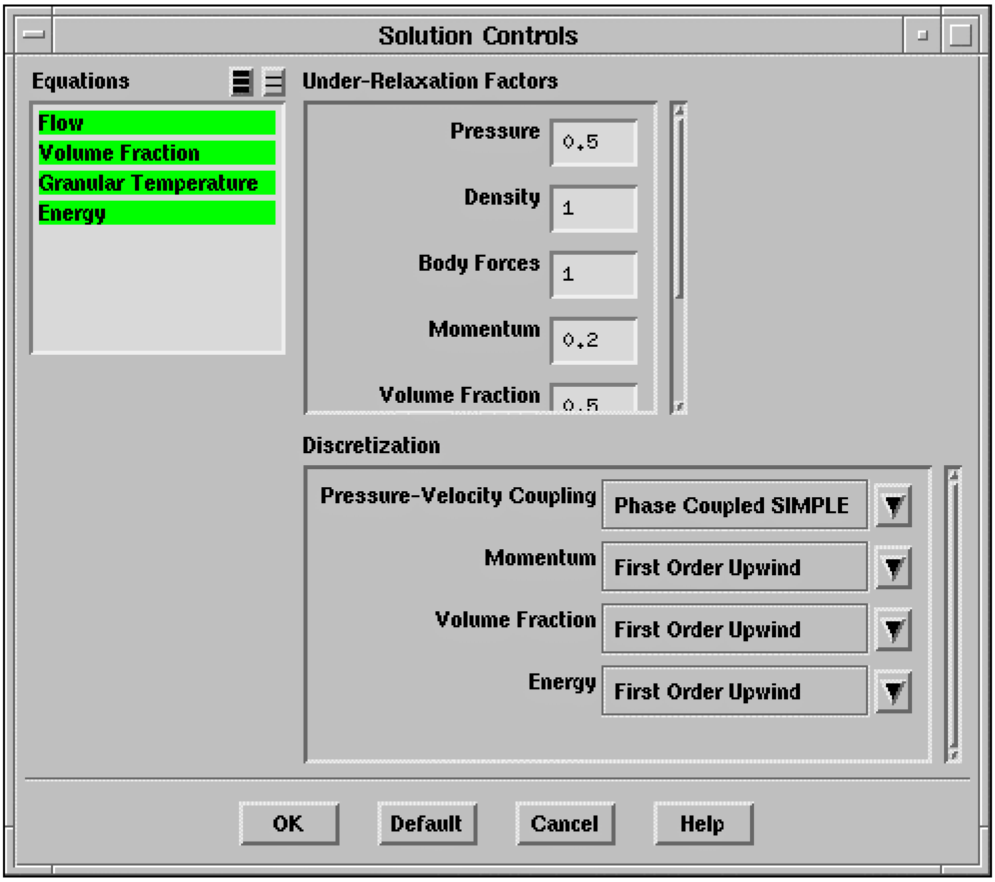
对于第二相，你得设定与基本相相同的零剪应力条件。

第 6 步：求解

1. 设定求解参数。

Solve →**Controls** →**Solution...**

www.myCFD.cn



(a) 把低松驰因子栏下的 **Pressure** 设定成 0.5。

(b) 把低松驰因子栏下的 **Momentum** 设定成 0.2。

(c) 把低松驰因子栏下的 **Volume Fractio** 设定成 0.5。

你必须拉动 **Under Relaxation Factors** 列表以显示低松驰因子下的 **Volume Fraction** 栏，这样你才能选择隐藏项。

(d) 保留所有 **Discretization** 的默认值不变。

(e) 点击 **OK**。

2. 设定计算过程中的残差监视器。

Solve →**Monitors** →**Residual...**

3. 为靠墙的一小块表面区域的传热系数定义一个表面监视器，它处在 y=0.24 的平面上。

(a) 为传热系数设定一个自定义范围函数。

www.myCFD.cn

首先，你得替混合温度和导热系数定义函数，然后你就能使用它们为传热系数定义一个函数了。

Define →Custom Field Functions...

i. 定义一个以 t_mix 为名的函数。

a. 在 **Field Functions** 的下拉列表中选择 **Temperature...**和 **Static Temperature**。

b. 在 **Phase** 的下拉列表中选择 **air**，同时点击 **Select**。

c. 在计算器键盘上点击乘法符号。

d. 在 **Field Functions** 的下拉列表中选择 **Phases...**和 **Volume Fraction**。

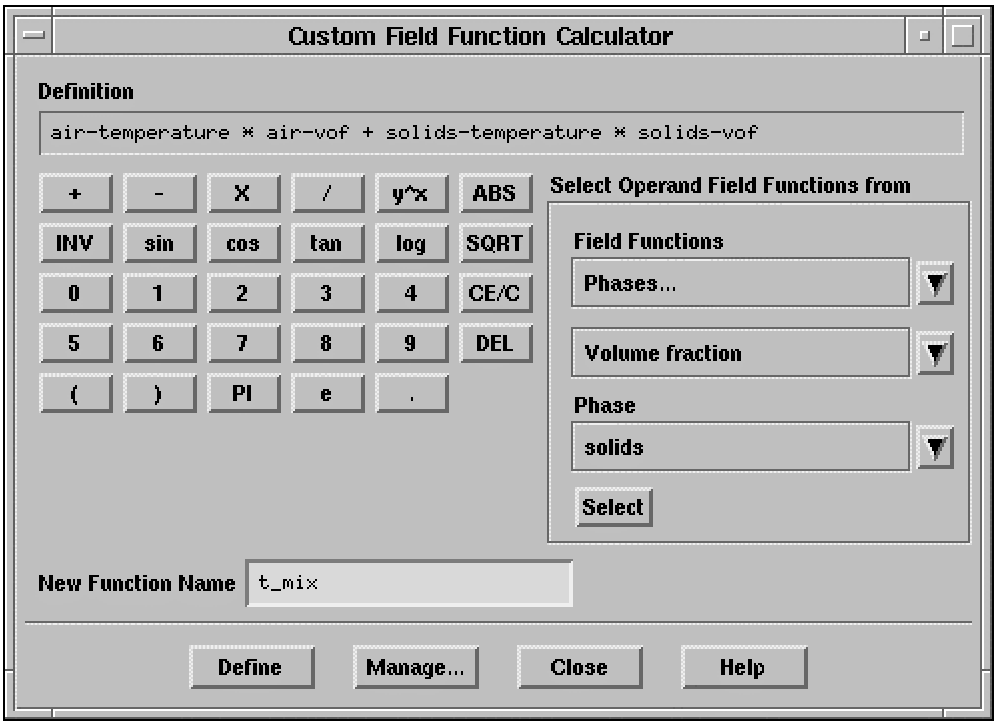
e. 在 **Phase** 的下拉列表里选择 **air**，同时点击 **Select**。

f. 在计算器键盘上点击加号。

g. 重复以上步骤，再输入 solids-temperature * solids-vof。

h. 在 **New Function Name** 右边的文本框内输入新的函数名：t_mix。

i. 点击 **Define**。



www.myCFD.cn

ii. 定义一个以 k_mix 为名的函数。

a. 在 **Field Functions** 的下拉列表中，选择 **Properties...**。

b. 在 **Phase** 的下拉列表中，选择 **air**。

c. 把性质设定成 **Thermal Conductivity**，同时点击 **Select**。

d. 在计算器键盘里点击乘法符号。

e. 在 **Field Functions** 的下拉列表中选择 **Phases...** 和 **Volume Fraction**。

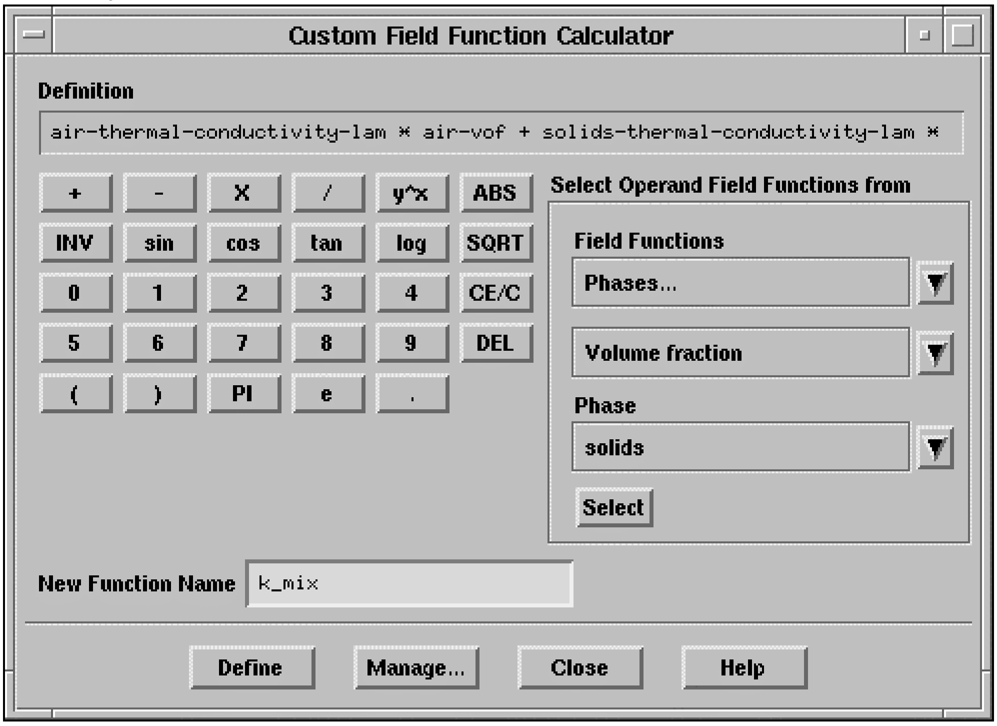
f. 在 **Phase** 的下拉列表中，选择 **air**，同时点击 **Select**。

g. 在计算器面板上点击加号。

h. 重复以上步骤，添加 solids-thermal-conductivity-lam * solids-vof。

i. 在 **New Function Name** 的文本框里输入 k_mix。

j. 点击 **Define**。



iii. 定义一个以 ave_htc 为名的函数。

a. 点击计算器键盘里的减法符号。

b. 在 **Field Functions** 的下拉列表中，选择 **Custom Field**

www.myCFD.cn

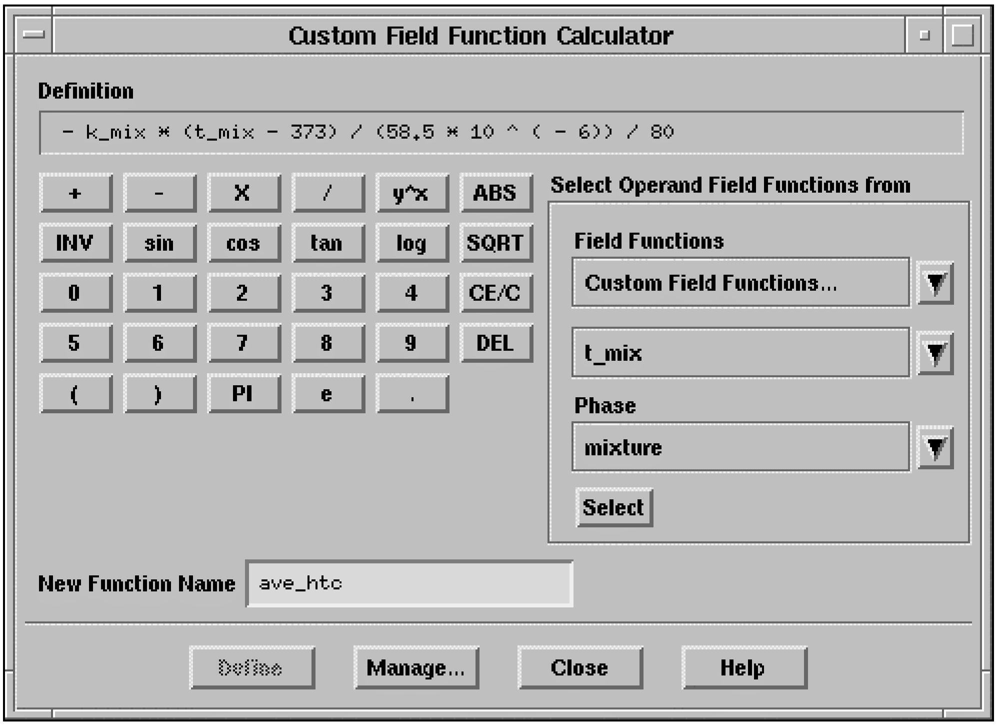
Functions...和 **t_mix**。

c. 像先前的步骤一样用计算器键盘和 **Field Functions** 列表去完成如下所示的函数的定义。

$$-k_mix \times (t_mix - 373)/(58.5 \times 10^{(-6)})/80$$

d. 在 **New Function Name** 栏里输入 ave_htc。

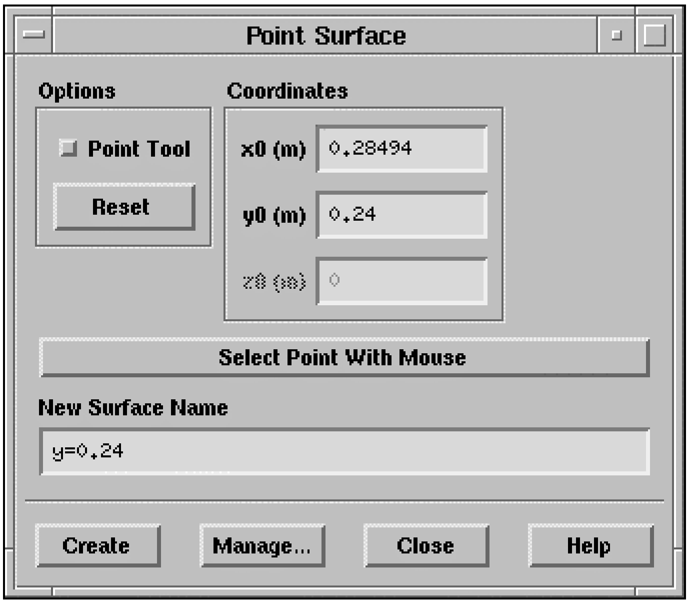
e. 点击 **Define**。



(b) 定义一个处在 y=0.24 的平面上的点。

Surface →Point...

www.myCFD.cn



i. 在 **Coordinates** 下，**x0** 栏输入 0.28494，**y0** 栏输入 0.24。

ii. 在 **New Surface Name** 项下输入名称 y=0. 24。

iii. 点击 **Create**。

(c) 为传热系数定义一个表面监视器。

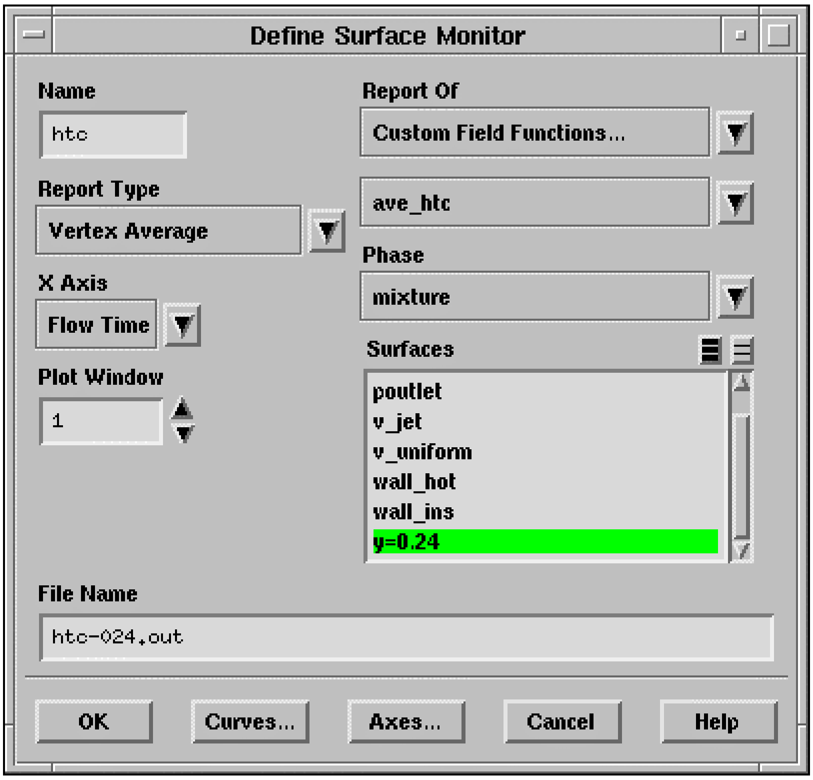
Solve →Monitors →Surface...

i. 增加 **Surface Monitors**（表面监测）窗口数目到 1。

ii. 点击 **monitor-1** 旁 **Plot**, **Print** 和 **Write** 下的白色按钮。

iii. 在 **Every** 的下拉列表里选择 **Time Step**，同时点击 **Define...**。这时 **Define Surface Monitor** 面板将会展开。

www.myCFD.cn



iv. 在 **Name** 栏里输入 htc。

v.在 **Report Type** 的下拉列表中，选择 **Vertex Average**。

vi. 在 **X Axis** 的下拉列表中选择 **Flow Time**。

vii. 增加 **Plot Window** 数目到 1。

viii. 在 **Report Of** 的下拉列表中，选择 **Custom Field Functions...**和 **ave_htc**。

ix. 在 **Surfaces** 的列表中，选择 **y=0.24**。

x.在 **File Name** 下的文本框输入名称 htc-024。

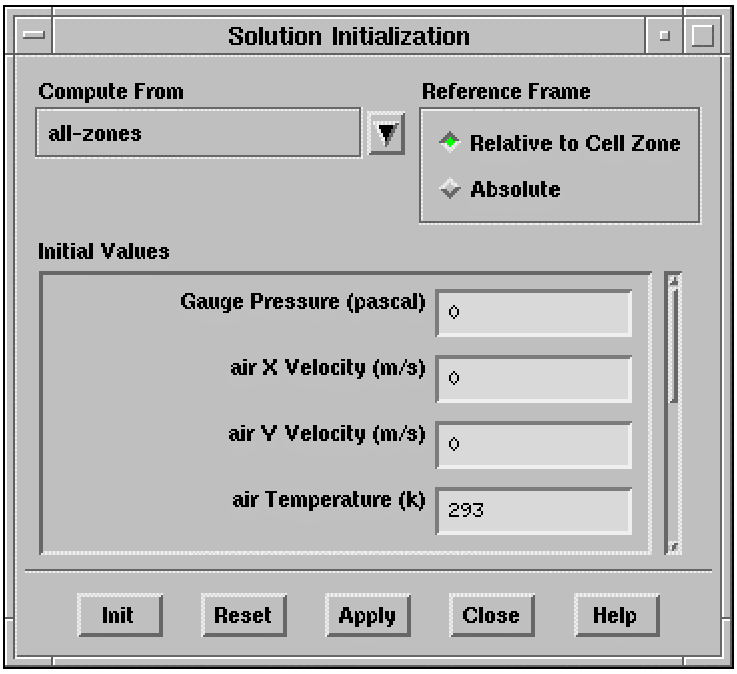
xi. 点击 **OK**。

xii. 在 **Surface Monitors** 面板里点击 **OK**。

4. 求解的初始化。

Solve →**Initialize** →**Initialize...**

www.myCFD.cn



(a) 在 **Initial Values** 窗口下，把 **air Temperature** 设定成 293。

(b) 把 **solids Granular Temperature** 设定成 0.0001。

(c) 把 **solids Temperature** 设定成 293。

(d) 点击 **Apply** 以保存以上的设定。

(e) 点击 **Init**。

5. 为流化床的下半部分定义一个修正记录器。

在下一步中你将用这个记录器去修正固体的初始体积分数。

Adapt →**Region...**

(a) 在 **Input Coordinates** 下设定 **Xmaximum** 的值为 0.3，**Ymaximum** 的值为 0.5。

(b) 点击 **Mark**。

www.myCFD.cn



(c) 点击 **Manage...**

这时 **Manage Adaption Registers** 面板将会打开。

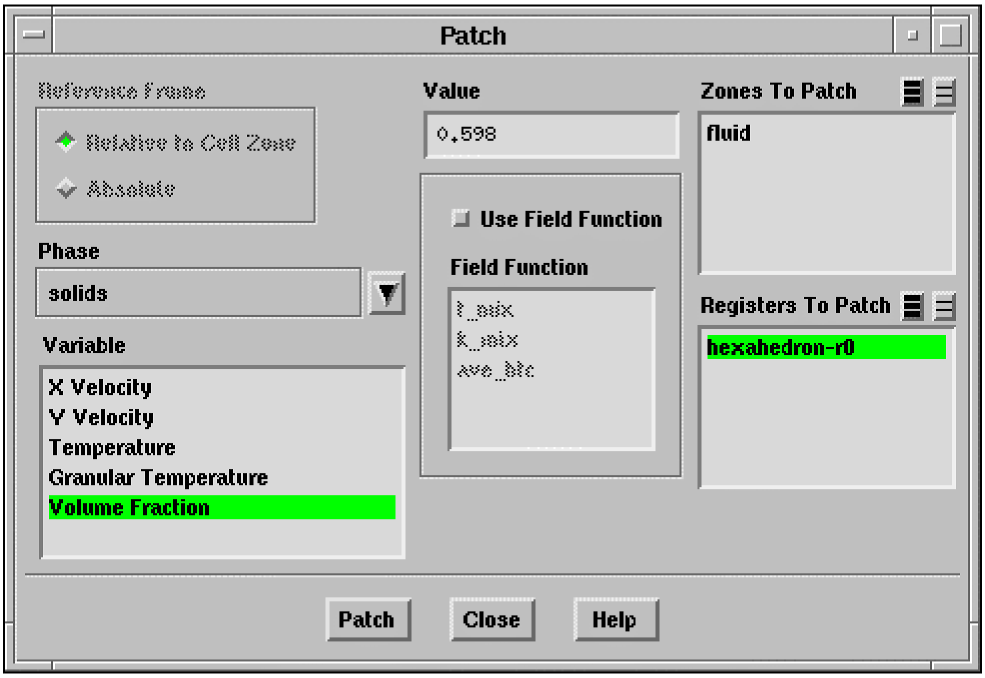
(d) 在 **Registers** 下，在 **Manage Adaption Registers** 面板中选择 **hexahedron-r0**，同时点击 **Display**。

当你定义一个自适应区域后，它能够很好地在通过视觉检查显示出来的计划区域。

6. 修正流化床的下半部分的固体的初始体积分数。

Solve →**Initialize** →**Patch...**

www.myCFD.cn



(a) 在 **Phase** 的下拉列表中，选择 **solids**。

(b) 在 **Variable** 的下拉列表中，选择 **Volume Fraction**。

(c) 在 **Value** 栏里输入 0.598。

(d) 在 **Registers to Patch** 列表中，选择 **hexahedron-r0**。

(e) 点击 **Patch**。

这时，它就能很好地执行你刚修正的变量，从而显示曲线，以确保所想要得到的区域包含在内。

7. 显示固体的体积分数图。

Display →**Contours...**

www.myCFD.cn

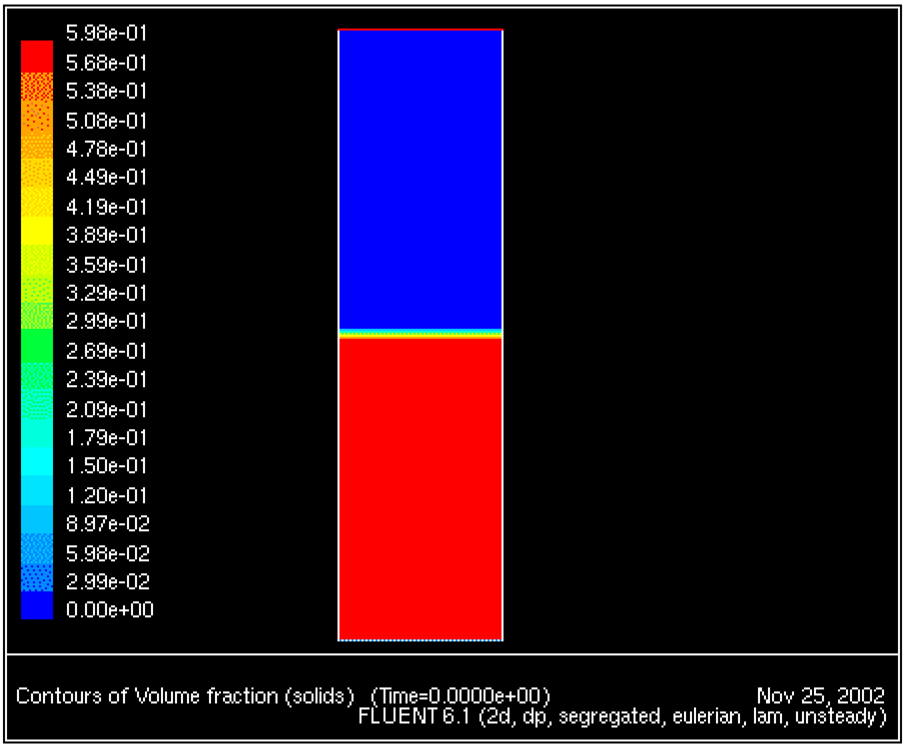


图 21.3：固相（固体）的初始体积分数图

8. 保存 case 文件（fluid-bed.cas)。

   File →Write →Case...

9. 设定时间步长为 0.00025 秒，并设想开始计算需要 7000 次迭代。

   Solve →Iterate...

   图中所示的靠近受热面的单元的混合物的平均传热系数与例 1 中公布的结果极其一致。

www.myCFD.cn

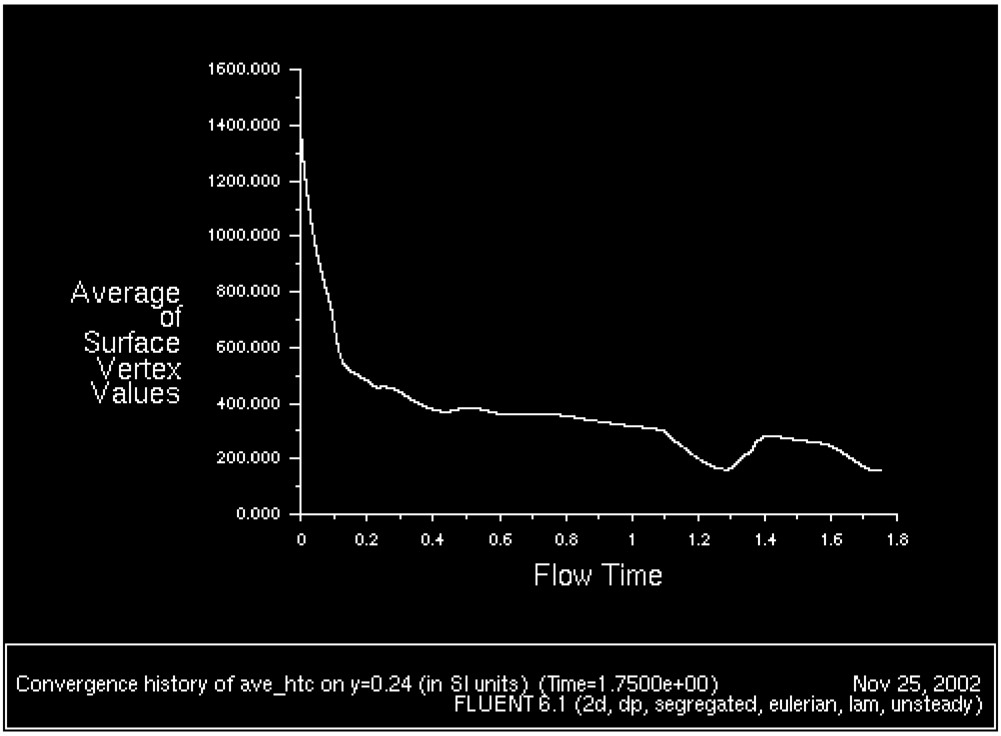


图 21.4：靠近受热面的单元中的混合物的平均传热系数相对时间的分布图

10. 保存 case 文件和 data 文件（fluid-bed.cas 和 fluid-bed.dat）。

File →Write →Case & Data...

另外：

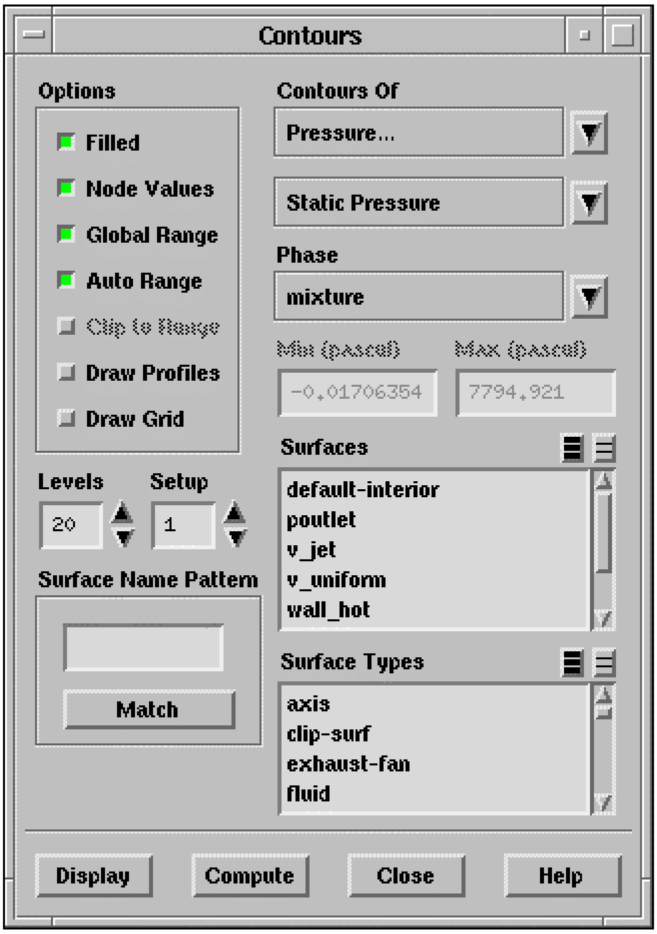
如果你决定从档案文件读入这个由 CD 文件提供的 case 文件，你就需要在你的工作目录下结合算例编译 UDF。这一步是必须的，因为当要读入档案文件时，FLUENT 就会在你的工作目录下寻找正确的 UDF 库。

第 7 步：后处理

1. 显示流化床中的压力场。

Display →Contours...

www.myCFD.cn



(a) 在 **Contours** 的下拉列表中，选择 **Pressure...**和 **Static Pressure**。

(b) 在 **Options** 下选择 **Filled**。

(c) 点击 **Display**。

www.myCFD.cn

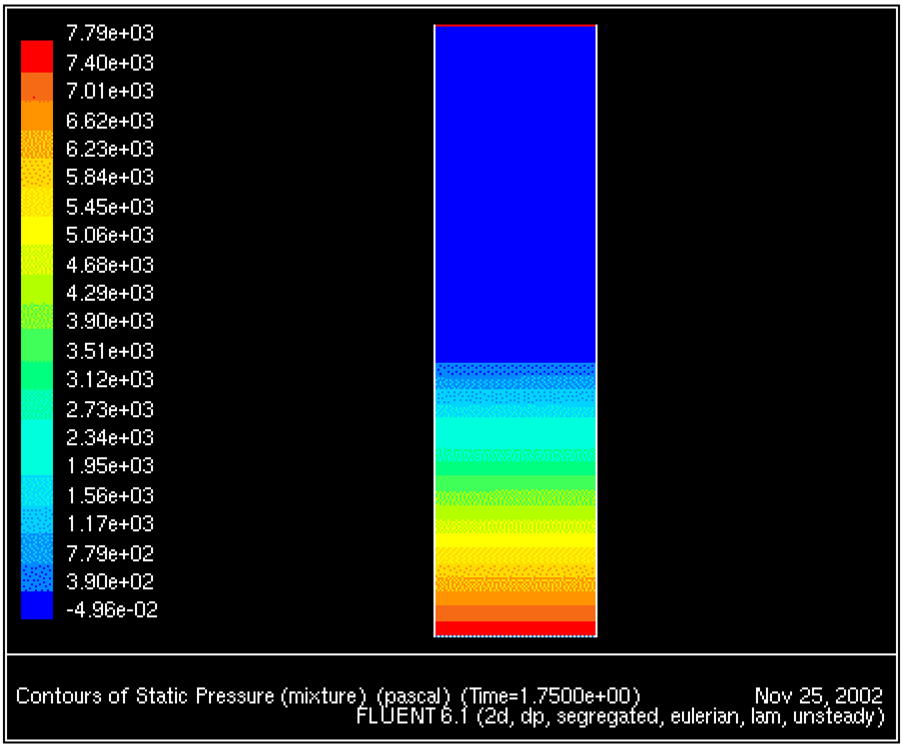


图 21.5：等压线图

注意在固相中内建的等压线。

2. 显示固体的体积分数图。

Display →**Contours...**

(a) 在 **Contours Of** 的下拉列表中，选择 **Phases...**和 **Volume fraction**。

(b) 在 **Phase** 的下拉列表中选择 **solids**。

(c) 点击 **Display**。

(d) 放大显示图中体积分数变化最大的区域。

www.myCFD.cn

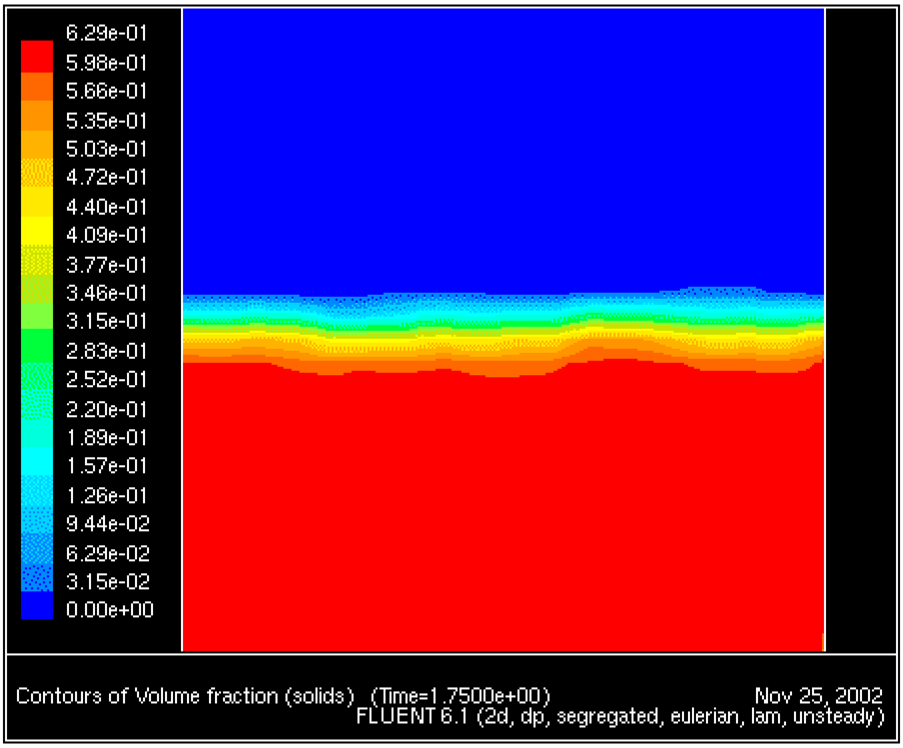


图 21.6：固体的体积分数图

注意被固相占据的区域有轻微的扩张，这是由于流化的结果。

概要

这个算例示范了如何使用欧拉模型去提出和解决有颗粒存在的多相传热问题。并介绍了如何为混合物和两个相设定边界条件。同时，求解获得的结果与 Kuipers 等人的分析结果极其一致[1]。

www.myCFD.cn